

Der Einfluss von Ganzkörpervibrationen auf kognitive und motorische Leistungen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades Dr. phil.

der Fakultät für Bildungswissenschaften
an der Universität Duisburg-Essen

vorgelegt von

Nina Karolin Völkel

geboren am 17. Oktober 1983 in Oberhausen

Tag der Einreichung: 02.07.2014

Tag der Disputation: 18.11.2014

Erstgutachter: Prof. Ewald M. Hennig, PhD

Zweitgutachter: Prof. Dr. Eric Eils

Für meine Familie

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei den Menschen bedanken, die mich auf dem Weg zur Promotion begleitet und unterstützt haben.

Zuallererst ist hier Herr Professor Ewald M. Hennig zu nennen, der mir diese Arbeit im Rahmen meiner Tätigkeit im Biomechaniklabor des Institutes für Sport- und Bewegungswissenschaften an der Universität Duisburg-Essen ermöglicht hat und mir jeder Zeit als Ansprechpartner zu Verfügung stand.

Herr Professor Eric Eils von der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster für die Erstellung des Zweitgutachtens.

Herrn Dr. Frank P. Schulte für die wertvolle und konstruktive Hilfe bei der Planung der zweiten Teilstudie.

Bei den Mitarbeitern des Biomechaniklabors für die schöne Zeit und harmonische Zusammenarbeit. Besonders bei Katharina Althoff als Begleiterin meiner Arbeit. Großer Dank gilt Ann-Kathrin Hömme, die mir immer eine Ansprechpartnerin für fachliche Fragen war. Sie gab mir viele nützliche Tipps für meine Dissertation, da sie kurz vor mir promovierte. Martin Lemke mit dem ich die Struktur meiner Arbeit besprechen konnte und der die erste Korrektur übernommen hat. Und Stephan Fischer (Schweiger) der immer ein offenes Ohr für mich hatte und mir half weiter zu machen.

Bei den Studierenden Nicole Westphal, Steffen Nünning, Thore Heldt und Christian Froeschke für die Hilfe bei der Durchführung der Messungen.

Des Weiteren möchte ich mich bei Jan Schilling bedanken, der mir beim Redigieren dieser Dissertation eine große Hilfe war.

Ebenfalls möchte ich mich bei den vielen Probanden bedanken, ohne deren freiwillige Bereitschaft und gewissenhafte Teilnahme diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Vor allem bei meinen Eltern, die an meinen Erfolg geglaubt haben und immer für mich da sind. Und bei meinem Freund Marco Schmitz der mich durch die Höhen und Tiefen dieser Arbeit begleitet und mich dabei immer unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Einleitung	1
2. Theoretischer Hintergrund und Forschungsstand	5
2.1. Systemarten von Ganzkörpervibrationsgeräten	5
2.2. Physikalische Grundlagen und Vibrationsparameter	6
2.2.1. Resonanz und Resonanzfrequenzen	8
2.3. Effekte von Ganzkörpervibrationen	10
2.3.1. Physiologische Effekte	11
2.3.2. Physikalische und psychische Effekte	13
2.3.3. Endokrine und cerebrale Veränderungen	14
2.4. Zielmotorische Bewegungsabläufe	17
2.4.1. Feinkoordinative Bewegungen	20
2.4.2. Effekte einer Ganzkörpervibration auf feinkoordinative Bewegungen	22
2.5. Gleichgewicht	25
2.5.1. Effekte einer Ganzkörpervibration auf die Gleichgewichtsregulation	28
2.6. Aufmerksamkeit	33
2.6.1. Effekte einer Ganzkörpervibration auf die Aufmerksamkeit	34
3. Verwendetes Vibrationstreatment	38
3.1. Qionic Classic Board	38
3.2. Evaluierung des Qionic Classic Board	39
3.3. Vibrations- und Kontrollbedingungen	40
3.4. Kontraindikatoren	41
4. Studie 1: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Handkoordination ...	42
4.1. Zielsetzung	42
4.2. Methodik	44
4.2.1. Untersuchungsdesign	44
4.2.2. Probanden	44
4.2.3. Beschreibung der verwendeten Messgeräte	45
4.2.3.1. Laser	45
4.2.3.2. Kamera	45
4.2.3.3. Messkasten	45
4.2.4. Messanordnung	46
4.2.5. Vibrationstreatment	47
4.2.6. Testprotokoll	47
4.2.7. Datenerfassung und –verarbeitung	50
4.2.8. Datenanalyse	51
4.3. Ergebnisse	51
4.3.1. Messsituation „Sitzende Position“	52
4.3.1.1. Aufsummierte zurückgelegte Strecke in m (ZS)	53
4.3.1.2. Aufsummierter absoluter Abstand vom Nullpunkt (AvN)	54

4.3.2.	Messsituation „Einbeinstand“	56
4.3.2.1.	Aufsummierte zurückgelegte Strecke (ZS).....	57
4.3.2.2.	Aufsummierte absoluter Abstand vom Nullpunkt (AvN)	58
4.3.3.	Lerneffekte.....	60
4.4.	Diskussion der Ergebnisse der Handkoordination.....	62
4.4.1.	Diskussion der Messsituation „Sitzende Position“	62
4.4.2.	Diskussion der Messsituation „Einbeinstand“	69
4.4.3.	Kritische Auseinandersetzung mit der Studie	74
4.5.	Hinführung zur zweiten empirischen Studie	75
5.	Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit	76
5.1.	Zielsetzung.....	76
5.2.	Methodik.....	78
5.2.1.	Untersuchungsdesign	78
5.2.2.	Probanden	79
5.2.3.	Gleichgewichtsmessung	79
5.2.4.	Verwendete Aufmerksamkeitstests.....	81
5.2.4.1.	d2-R zur Erfassung der konzentrierten Aufmerksamkeit	81
5.2.4.2.	Farbe-Wort-Interferenztest (FWIT).....	83
5.2.4.3.	Trail Making Test (TMT).....	85
5.2.5.	Tests für einen Gruppenvergleich.....	86
5.2.5.1.	Test zum kognitiven Schätzen (TKS)	86
5.2.5.2.	Big Five Inventory – 10 Items (BFI-10).....	87
5.2.5.3.	Leistungsprüfsystem (LPS)	88
5.2.6.	Eingesetzte Treatmentbedingungen	88
5.2.6.1.	Vibrations- und Kontrollbedingung	88
5.2.6.2.	Placebobedingung	89
5.2.7.	Testprotokoll	89
5.2.8.	Datenerfassung und Datenverarbeitung	93
5.2.9.	Datenanalyse.....	94
5.3.	Ergebnisse	95
5.3.1.	Anthropometrische Daten und Gruppenvergleichstests.....	96
5.3.2.	Gleichgewicht	98
5.3.2.1.	Ergebnisse des Einbeinstand mit geöffneten Augen auf der Airex Matte (EPA).....	99
5.3.2.2.	Ergebnisse des Einbeinstand mit geschlossenen Augen auf dem rechten Bein (ERZ).....	101
5.3.3.	Korrelationen	102
5.3.4.	Aufmerksamkeitstests.....	103
5.3.4.1.	Ergebnisse des d2-R zur Erfassung der konzentrierten und visuellen, selektiven Aufmerksamkeit	104
5.3.4.2.	Ergebnisse des TMT zur Erfassung der exekutiven Funktion	105
5.3.4.3.	Ergebnisse des FWIT zur Erfassung der exekutiven Funktion und visuellen, selektiven Aufmerksamkeit	106
5.4.	Diskussion.....	107
5.4.1.	Diskussion der Gleichgewichtsaufgaben	107
5.4.2.	Diskussion der Aufmerksamkeitstest	114
5.4.3.	Kritische Auseinandersetzung mit der Studie	118
5.5.	Schlussfolgerungen.....	118

6. Fazit und Ausblick	120
7. Zusammenfassung	123
Literaturverzeichnis.....	127
Anhang	138
Studie zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Handkoordination.....	138
Studie zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit	142
Ausklappbares Abkürzungsverzeichnis.....	151

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übertragung der Vibration	5
Abbildung 2:	Weg-Zeit Diagramm einer sinusförmigen Schwingung	6
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der Regulation der Muskelsteifheit	12
Abbildung 4:	Übersicht über die motorischen Systeme	19
Abbildung 5:	Effekte von Vibrationen auf die Handbewegung	23
Abbildung 6:	Strukturmodell der Aufmerksamkeit.....	34
Abbildung 7:	Qionic Classic Board	39
Abbildung 8:	Messaufbau	46
Abbildung 9:	ZS in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz	53
Abbildung 10:	ZS in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz.....	54
Abbildung 11:	AvN in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 5Hz – 25 Hz.....	54
Abbildung 12:	AvN in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz....	55
Abbildung 13:	ZS im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz	57
Abbildung 14:	ZS im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz	58
Abbildung 15:	AvN im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz	59
Abbildung 16:	AvN im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz	59
Abbildung 17:	Lerneffekt ZS im Einbeinstand	60
Abbildung 18:	Lerneffekt ZS in sitzender Position.....	61
Abbildung 19:	Darstellung der Gleichgewichtsaufgaben.....	80
Abbildung 20:	Victory Performance Laufschuh	81
Abbildung 21:	Möglichen Zielvariationen und Distraktoren für den d2-R	82
Abbildung 22:	Ausschnitte aus der Übungstafel	84
Abbildung 23:	Vegetarische Leerkapsel.....	89
Abbildung 24:	Fahrradergometer mit Mountainbike	90
Abbildung 25:	zurückgelegte Strecke s des COG	99
Abbildung 26:	zurückgelegte Strecke s des COG für EPA.....	100
Abbildung 27:	zurückgelegte Strecke s des COG für ERZ.....	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Studienübersicht zum Einfluss eines WBV auf die Gleichgewichtsfähigkeit	31
Tabelle 2:	Ablauf der Messungen	48
Tabelle 3:	Messreihenfolge	49
Tabelle 4:	Lerneffekt zwischen den beiden Prä-Bedingungen	61
Tabelle 5:	Tabellarische Übersicht zum Ablauf der Messung	93
Tabelle 6:	Anthropometrische Daten der drei Untersuchungsgruppen mit 60 Probanden	96
Tabelle 7:	Ergebnisse der Gruppenvergleichstest der drei Untersuchungsgruppen	97
Tabelle 8:	Signifikanzwerte für den Parameter EPA mit 48 Probanden	100
Tabelle 9:	Signifikanzwerte für den Parameter ERZ mit 51 Probanden	101
Tabelle 10:	Normalisierte d2-R Mittelwerte in % und Standardabweichungen individualisiert für 58 Probanden	105
Tabelle 11:	Signifikanzwerte für d2-R	105
Tabelle 12:	Normalisierte TMT Mittelwerte in % und Standardabweichungen individualisiert für 60 Probanden	106
Tabelle 13:	Signifikanzwerte für TMT	106
Tabelle 14:	Normalisierte FWIT Mittelwerte in % und Standardabweichungen individualisiert für 58 Probanden	106
Tabelle 15:	Signifikanzwerte für FWIT	107
Tabelle 16:	ZS in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz	138
Tabelle 17:	ZS in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz	138
Tabelle 18:	AvN in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz	139
Tabelle 19:	AvN in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz	139
Tabelle 20:	ZS im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz	140
Tabelle 21:	ZS im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz	140
Tabelle 22:	AvN im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz	141
Tabelle 23:	AvN im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz	141
Tabelle 24:	Anthropometrische Daten der drei Untersuchungsgruppen mit 48 Probanden für die Gleichgewichtsaufgabe EPA	144
Tabelle 25:	Anthropometrische Daten der drei Untersuchungsgruppen mit 51 Probanden für die Gleichgewichtsaufgabe ERZ	144
Tabelle 26:	Ergebnisse der Gruppenvergleichstest mit 48 Probanden für die Gleichgewichtsaufgabe EPA	145
Tabelle 27:	Ergebnisse der Gruppenvergleichstest mit 51 Probanden für die Gleichgewichtsaufgabe ERZ	146
Tabelle 28:	Korrelation nach Pearson zwischen Aufmerksamkeit und Gleichgewicht	147
Tabelle 29:	Anthropometrische Daten der drei Untersuchungsgruppen mit 58 Probanden für d2-R	147
Tabelle 30:	Ergebnisse der Gruppenvergleichstest mit 58 Probanden für d2-R ...	148
Tabelle 31:	d2-R Mittelwerte und Standardabweichung der absolut Werte für 58 Probanden	149
Tabelle 32:	TMT Mittelwerte und Standardabweichung der absolut Werte für 60 Probanden	149
Tabelle 33:	FWIT Mittelwerte und Standardabweichung der absolut Werte für 60 Probanden	150

Abkürzungsverzeichnis

Allgemeine Abkürzungen

bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
FIBO	Fitness & Body
u.a	unter anderem
x	Mal
z.B.	zum Beispiel
%	Prozent

Technische und physikalische Abkürzungen

EMG	Elektromyographie
MRT	Magnetresonanztomographie
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
RGB	Rot, Grün und Blau (Farbraum)
r.m.s.	root-mean square
sin	Sinus

Einheiten

cm	Zentimeter
dB	Dezibel
Hz	Hertz
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
m	Meter
Min	Minuten
mm	Millimeter
m/s ²	Meter pro Sekunde zum Quadrat
nm	Nanometer
°	Grad (Winkel)

Formelzeichen

A	Amplitude
a	Beschleunigung
a _{peak}	maximale Beschleunigung
A _{RMS}	durchschnittliche Beschleunigung
f	Frequenz
D	Hub
g	Erdbeschleunigung
T	Periodendauer
t	Zeit
φ	Phasenwinkel
π	Kreiszahl Pi
ω	Winkelgeschwindigkeit

Biologische Abkürzungen

C	Cortisol (Hormon)
DA	Dopamin (Neurotransmitter)
GABA	γ – Aminobuttersäure (Neurotransmitter)
GH	Wachstumshormon (Hormon)
HVA	Homovanilinsäure (Neurotransmitter)
M.	Musculus
NA	Noradrenalin (Neurotransmitter)
T	Testosteron (Hormon)
TVR	Tonischer Vibrationsreflex
5-HAT	Serotonin (Neurotransmitter)

Verwendete Abkürzungen in der Studie zur Handkoordination

AvN	absolute Abstand vom Nullpunkt
VIANA	Videoanalyse Programm
ZS	zurückgelegte Strecke

Verwendete Abkürzungen in der Studie zur Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

BFI-10	Big Five Inventory – 10 Items zur Erfassung der Persönlichkeit (Gruppenvergleichstest)
d2-R	Durchstreichtest zur Erfassung der konzentrierten Aufmerksamkeit (Aufmerksamkeitstest)
COG	center of gravity
FWIT	Farb-Wort-Interferenztest zur Erfassung exekutiver Funktionen (Aufmerksamkeitstest)
LPS-4	4 Untertest des Leistungsprüfsystems (Gruppenvergleichstest)
TKS	Test zum kognitiven Schätzen (Gruppenvergleichstest)
TMT	Trail Making Test zur Erfassung exekutiver Funktionen (Aufmerksamkeitstest)

Abkürzungen zur Statistik

*	Signifikant auf 5% Niveau
**	Signifikant auf 1% Niveau
***	Signifikant auf 0,1% Niveau

1. Einleitung

Der Einfluss von Vibration auf den menschlichen Körper wird in der Arbeitswissenschaft bereits seit den 1960er Jahren untersucht (Costa, Arezes & Melo, 2012), wobei vermehrt negative Effekte festgestellt wurden. Diese zeigen sich unter anderem in Rückenschmerzen und Durchblutungsstörungen (Kjellberg, 1990), aber auch in psychischen Veränderungen wie Müdigkeit, Depression oder Angstzuständen (Abbate et al., 2004; Jiao, Li, Chen, Wang & Qi, 2004).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen in der Arbeitswissenschaft konnten in Studien mit mechanischen Ganzkörperschwingungen als Trainings- und Therapieintervention auch positive Effekte auf den menschlichen Körper nachgewiesen werden. Seit Vorstellung der PowerPlate® auf der FIBO (Fitness & Body) 2002, einer Messe für Fitness, Wellness und Gesundheit, halten immer mehr Ganzkörpervibrationstrainingsgeräte Einzug in die moderne Fitnesswelt (Beutler, 2007). Ab diesem Zeitpunkt nimmt die Anzahl der Hersteller und der Marktanteil dieser Geräte zu. Für die Vermarktung der Geräte werden vielfältige positive Trainingseffekte angepriesen, jedoch sind diese nur teilweise mit wissenschaftlichen Methoden untersucht worden.

Ein Untersuchungsschwerpunkt von Studien zur Ganzkörpervibration hinsichtlich des sportlichen und präventiven Trainings liegt im Bereich der Kraftfähigkeit der unteren Extremitäten. Hierbei konnten teilweise positive Effekte eines Vibrationstreatments aufgezeigt werden (Bosco et al., 2000; Chen, Liu, Chuang, Chung & Shiang, 2014; Roelants, Delecluse, Goris & Verschueren, 2004). Andere Studien fanden keine (Roelants et al., 2004) oder nur negative Effekte (Bosco, Colli, Cardinale, Tsarpela & Bonifazi, 1999). Trotz der bisher konträren Studienergebnisse wird die Ganzkörpervibration als eine neue Form der neuromuskulären Trainingsmethode angesehen (Yamada et al., 2005) und von vielen Trainern und Therapeuten angewendet, ohne die genauen Wirkungsmechanismen zu kennen.

Neben Veränderungen in der Kraftfähigkeit durch einen äußeren Vibrationsreiz zeigten sich in Studien mit Parkinson-Patienten Verbesserungen in

Koordinationstests in den oberen Extremitäten (Haas & Schmidbleicher, 2002). Bemerkenswert hierbei ist, dass die in den oberen Extremitäten festgestellten positiven Effekte nicht auf eine rein muskuläre Veränderung durch einen Vibrationsreiz zurückzuführen sind, da z.B. in der oben genannten Studie die Ganzkörpervibration über die unteren Extremitäten appliziert wurde.

In diesem Bereich der Ganzkörpervibration liegen bisher keine Untersuchungen mit einem gesunden Probandenkollektiv vor. Bislang wurden hierzu nur Studien durchgeführt, welche die Handkoordination während der Vibrationseinwirkung untersuchten; dabei konnten lediglich Verschlechterungen der koordinativen Leistung nachgewiesen werden (Costa et al., 2012, Verschueren, Swinnen, Cordo & Dounskaia, 1999a, 1999b).

Fraglich bleibt daher, ob die Verbesserungen in der Handkoordination, die bei Parkinson-Patienten nach einem Vibrationstreatment festgestellt wurden, durch eine Milderung der krankheitsbedingten Symptome bedingt werden oder durch eine grundsätzliche Beeinflussung der Steuerungsmechanismen der Handbewegung. Falls die Ergebnisse aus den Parkinson-Studien auf ein gesundes Probandenkollektiv übertragbar sind, würde sich eine völlig neue Einsatzmöglichkeit eines Vibrationstreatments im Sport ergeben und gerade für die Präzisionsportarten, wie z.B. den Schießsport, einen Gewinn darstellen (Siebert & Espig, 2013).

Des Weiteren konnte in Studien mit Parkinson-Patienten neben einer verbesserten Handkoordination auch eine Steigerung der Gleichgewichtsfähigkeit beobachtet werden (Haas, Turbanski, Kessler & Schmidbleicher, 2006b). Diese Effekte konnten teilweise auch bei einem gesunden Probandenkollektiv direkt nach einem Vibrationstreatment festgestellt werden, wobei der Effekt vom Messzeitpunkt und der verwendeten Vibrationsfrequenz abhängig ist (Haas, Turbanski & Schmidbleicher, 2004b; Schlee, Reckmann & Milani, 2012; Torvinen et al., 2002a).

In der Arbeitswissenschaft führten Harris & Shoenberger (1980) in ihrer Arbeit an, dass es neben der mechanischen Störung durch eine externe Vibration auch zu einer Störung der kognitiven Faktoren kommen kann. Die wurde zumeist während

einer Vibrations- und/oder Geräuschbelastung untersucht. In einer Studie, welche die Nachwirkungen einer Vibration auf die kognitive Leistung untersuchte, zeigte sich eine Verschlechterung der Leistung in einem Aufmerksamkeitstest, obwohl die Probanden ihre subjektive empfundene Aufmerksamkeit nach der Vibrationsbelastung als erhöht einstufen. Die Diskrepanz zwischen der subjektiv empfundenen, verbesserten Aufmerksamkeit und einer Verschlechterung der Genauigkeitsleistung kann eine Gefahr in Arbeitsprozessen (Ljungberg & Neely, 2007a) und in der sportlichen Praxis darstellen.

Fraglich ist aber, ob diese Veränderungen bereits nach einem kurzen Vibrationstreatment hervorgerufen werden und ob sich die Effekte hinsichtlich ihrer Ausprägung unterscheiden.

Aus den einleitend erwähnten Untersuchungen ergeben sich zwei wesentliche Untersuchungsschwerpunkte, denen in zwei Studien nachgegangen werden soll. In der ersten Studie des Dissertationsvorhabens soll der Fragestellung nachgegangen werden, ob eine Verbesserung der Handkoordination nach einem Vibrationstreatment über eine Ganzkörpervibrationsplattform auch bei einem gesunden Probandenkollektiv nachgewiesen werden kann. Hierbei wird die Handkoordination von gesunden, jungen Probanden nach einer Vibrationseinwirkung mit zwei unterschiedlichen Frequenzen evaluiert.

In einer anschließenden Studie soll untersucht werden, inwieweit eine kurzfristige Ganzkörpervibration die kognitive Leistung und die Gleichgewichtsregulation beeinflusst.

Zum besseren Verständnis der im Rahmen des Dissertationsvorhabens durchgeführten Studien und aufgrund der verschiedenen Vibrationsparameter werden im Kapitel 2 zunächst die generellen, gerätetechnischen und physikalischen Grundlagen von Schwingungen erläutert.

Das Kapitel endet mit der Literaturbesprechung, in der Grundlagen zu den einzelnen untersuchten Bereichen (zielmotorische Bewegungen, Gleichgewicht und Aufmerksamkeit) und deren Forschungsstand dargestellt werden.

Im Kapitel 3 wird das in beiden empirischen Studien verwendete Vibrationstrainingsgerät vorgestellt sowie die Evaluierung des Gerätes erläutert. Des Weiteren werden hier die verwendeten Übungen, welche sich für die Studien ebenfalls identisch gestalteten, und allgemeine Kontraindikatoren dargelegt, die vom Training an diesem Gerät ausschließen.

Danach werden die beiden empirischen Studien separat dargestellt und diskutiert. In einem abschließenden Fazit werden die Ergebnisse beider Studien erläutert, Zusammenhänge dargestellt sowie ein Forschungsausblick gegeben.

2. Theoretischer Hintergrund und Forschungsstand

2.1. Systemarten von Ganzkörpervibrationsgeräten

Ganzkörpervibrationstrainingsgeräte können nach der Art ihres Energietransfers auf den menschlichen Körper in zwei Systemarten unterschieden werden (Burkhardt, 2006; Cardinale & Rittweger, 2006; Rittweger, 2010). Hierbei unterscheidet man zwischen seitenalternierenden und vertikalen Hub-Bewegungen (siehe Abbildung 1).

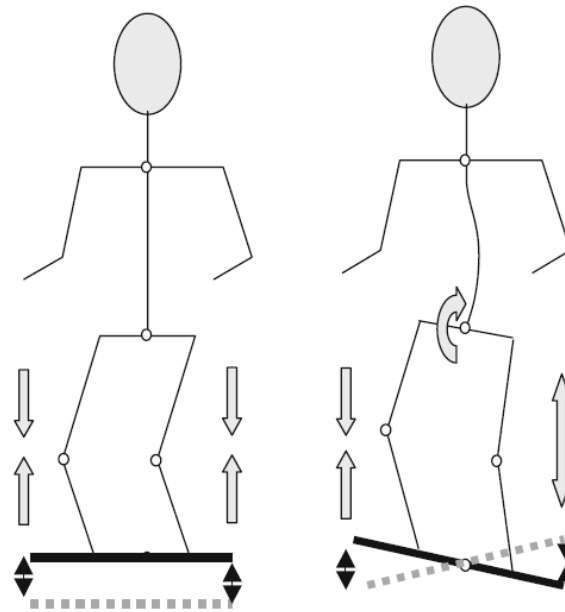


Abbildung 1: Übertragung der Vibration (nach Rittweger, 2010, S. 879)

Die Übertragung der Vibrationen auf den menschlichen Körper ist je nach verwendeter Bewegungsart der Plattform verschieden, da der Körper den einwirkenden Reiz unterschiedlich verarbeiten und dämpfen kann. Hierbei ist das primäre Ziel des menschlichen Körpers die Ruhighaltung des Kopfes, um dadurch die Erschütterungen zu minimieren (Burkhardt, 2006). Bei einer vertikalen Hub-Bewegung der Plattform, z.B. bei der Power Plate®, bewegt sich die Vibrationsplatte in ihrer vollen Länge vertikal nach oben und unten (Beutler, 2007). Dadurch werden beide Füße synchron ausgelenkt (siehe Abbildung 1, links). Bei der seitenalternierenden Bewegung kippt die Platte um eine Mittelachse (siehe Abbildung 1, rechts). Dieses Prinzip wird unter anderem in den

Vibrationstrainingsgeräten Galileo® der Firma Novotec Medical GmbH verwendet (Beutler, 2007; Cheung et al., 2007). Neben der Art der Bewegungsausführung der Platte sind weitere Variablen einstellbar, diese werden im folgenden Kapitel 2.2 näher erläutert.

2.2. Physikalische Grundlagen und Vibrationsparameter

Der Bewegungsvorgang der Ganzkörpervibrationsplatte lässt sich physikalisch durch eine Schwingung beschreiben. Eine Schwingung ist laut Definition eine periodisch, räumlich und zeitlich symmetrische Hin-und-Her-Bewegung eines Körpers durch eine Ruhelage (Grehn, 1991). Als Oszillatoren werden schwingungsfähige Systeme bezeichnet (Bredthauer et al., 2007). Viele Vibrationstrainingsgeräte verwenden eine sinusförmige Schwingung (Rittweger, 2010), diese kann auch als harmonische Schwingung bezeichnet werden (Bredthauer et al., 2007).

Eine harmonische Schwingung wird mathematisch über folgende Parameter beschrieben: Frequenz, Amplitude und Phasenwinkel (Cardinale & Bosco, 2003; Rittweger, 2010).

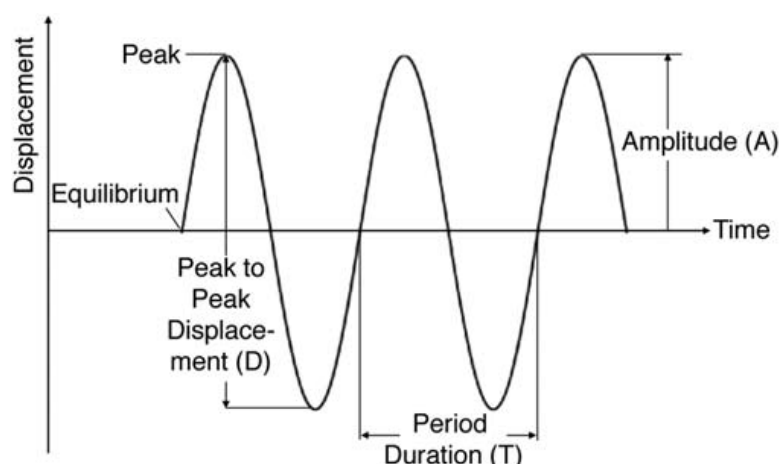


Abbildung 2: Weg-Zeit Diagramm einer sinusförmigen Schwingung (nach Rauch et al., 2010, S. 194)

Die Frequenz f ist die Anzahl der Schwingungen (n) pro Zeit (t) mit $f = \frac{n}{t}$. Die Frequenz kann auch über die Dauer einer Periode T durch $f = \frac{1}{T}$ berechnet werden. Neben dieser sinusförmigen Schwingung verwenden einige Autoren auch stochastische Frequenzen, hierbei variiert die Frequenz während der gesamten Vibrationseinwirkung zufällig in einem vorgegebenen Bereich und ist dadurch für den Probanden bzw. Trainierenden nicht vorhersehbar (Haas, Buhlmann, Turbanski & Schmidtbleicher, 2006a; Haas & Schmidtbleicher, 2002; Haas et al., 2006b; Turbanski, Haas, Friedrich, Duisberg & Schmidtbleicher, 2005). Die Höhe der Frequenz und die Frequenzart werden am Vibrationsgerät eingestellt.

Die Amplitude A beschreibt die maximale Auslenkung aus der Ruhelage. Die Spitze-Spitze Auslenkung (= 2 x Amplitude) wird als Hub D bezeichnet. Im Englischen wird hierfür der Begriff *Peak-to-Peak Displacement* verwendet (siehe Abbildung 2).

Der Phasenwinkel φ wird beschrieben durch $\varphi = \omega \cdot t$. Das Weg-Zeit-Gesetz eines harmonischen Oszillators lautet: $s(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$, wobei ω die Winkelgeschwindigkeit darstellt. Diese wird berechnet durch $\omega = 2\pi f$.

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Beschreibung des Trainingsreizes ist die Beschleunigung (Rittweger, 2010). Sie beschreibt die Änderung der Winkelgeschwindigkeit pro Zeiteinheit. Die maximale Beschleunigung lässt sich berechnen durch $a_{peak} = \omega^2 A$ oder $a_{peak} = 2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot D$ (Lorenzen, Maschette, Koh & Wilson, 2009; Rauch et al., 2010).

Die *root-mean square* (rms) Beschleunigung lässt sich für eine sinusförmige Schwingung folgendermaßen berechnen: $a_{RMS} = \frac{a_{peak}}{\sqrt{2}}$ (Rittweger, 2010). Sie beschreibt die durchschnittlichen Änderungen der Geschwindigkeit über eine volle Schwingungsperiode und stellt damit dessen Effektivwert dar (Rauch et al., 2010). In Abbildung 2 werden einige Parameter in einem Weg-Zeit Diagramm verdeutlicht.

Da die Parameter teilweise voneinander abhängig sind, werden nicht alle für eine eindeutige Beschreibung des Vibrationstreatments benötigt. Nach einer Empfehlung der *International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions* sollen die Frequenz und der Umfang einer sinusförmigen Vibration

angegeben werden (Rauch et al., 2010). Der Umfang kann hierbei über verschiedene Parameter beschrieben werden. Hierfür kann der Hub oder die Amplitude gewählt werden. Einige Autoren verwenden diese Begriffe synonym, wobei der Hub einen Faktor 2 gegenüber der Amplitude beinhaltet und daher diese Begriffe eindeutig voneinander getrennt werden müssen (Lorenzen et al., 2009). Lorenzen et al. (2009) ziehen es vor, die Angabe des Hubs zu verwenden. Obwohl die maximale Beschleunigung keine zusätzlichen Informationen liefert, da sie sich aus der Frequenz und dem Hub berechnen lässt, wird sie als ein Vielfaches der Erdbeschleunigung (g) angegeben (Rauch et al., 2010). Ebenfalls soll klargestellt werden, ob die Beschleunigung berechnet oder durch einen Beschleunigungsaufnehmer erfasst wurde (Lorenzen et al., 2009).

Neben diesen physikalischen Parametern muss auch mit angegeben werden, welche Systemart die Vibrationsplatte verwendet (siehe Kapitel 2.1). Der Hub hängt bei einer seitenalternierenden Vibrationsplatte von der Position der Körperteile auf der Vibrationsplatte ab. Je weiter z.B. die Füße von der Mittelachse der Platte entfernt sind, desto größer wird der Hub. Um die Entfernung von der Mittelachse genauer zu bestimmen und eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Studien zu ermöglichen, sollte nach Lorenzen et al. (2009) die mittlere Zehe als anatomischer Punkt für die exakte Fußpositionierung auf der Vibrationsplatte verwendet werden. Die Herstellerangaben bezüglich der unterschiedlichen Vibrationsparameter sind - gemessen an wissenschaftlichen Standards - nicht immer korrekt. Zudem können sich verschiedene Parameter durch den Einsatz von zusätzlichen Gewichten oder durch die Bewegung der Probanden bzw. Trainierenden verändern. Daher ist eine Evaluierung der Vibrationsplattform zwingend erforderlich (Rauch et al., 2010). Die Evaluierung des in dieser Arbeit verwendeten Geräts wird im Kapitel 3.1 vorgenommen.

2.2.1. Resonanz und Resonanzfrequenzen

Wird ein Oszillator von außen in Schwingung versetzt (erzwungene Schwingung) kommt es bei bestimmten Frequenzen zum Resonanzphänomen. Hierbei erfolgt die Energieübertragung vom äußeren Erreger auf den Oszillator maximal, indem

sich z.B. der Oszillator in seiner größten Auslenkung befindet und in diesem Punkt maximal vom Erreger beschleunigt wird. Dies entsteht jedoch nur bei ganz bestimmten Resonanzfrequenzen, welche vom schwingungsfähigen System abhängig sind. Bei einer zu geringen Dämpfung kommt es im Resonanzfall zu einer Resonanzkatastrophe, die den Oszillator zerstören kann (Bredthauer et al., 2007; Grehn, 1991).

Der Mensch stellt ein nichtlineares, mehrfach gekoppeltes Oszillationssystem dar. Er selektiert die eingeleiteten Frequenzen und dämpft diese unterschiedlich (Haas, Turbanski & Schmidbleicher, 2007b). Die Resonanzfrequenz des menschlichen Körpers ist unter anderem vom Körpergewicht, der Körperhaltung, der Muskelsteifheit und der einwirkenden Vibration ab (Mester, Kleinöder & Yue, 2006). Bei der Vibration spielen die Frequenz und die Beschleunigung ebenso eine Rolle wie das verwendete Material, welches die Vibration überträgt (Kubo, Terauchi, Aoki & Matsuoka, 2001). Studien aus der Arbeitswissenschaft konnten eine Hauptresonanzfrequenz für den menschlichen Körper bei einer vertikalen Vibration zwischen 2 Hz und 6 Hz feststellen (Kjellberg, 1990). Eine sekundäre Resonanzfrequenz des menschlichen Körpers liegt bei 11 Hz (Harris & Shoenberger, 1966). Andere Autoren geben einen Resonanzbereich des menschlichen Körpers von 2-11 Hz an (Kubo et al., 2001). Für eine sitzende Position liegt die primäre Resonanzfrequenz für eine vertikale Vibration in einem Bereich von 4-5 Hz (Wu, Rakheja & Boileau, 1998).

Ein weiteres, nichtmechanisches Resonanzphänomen stellt die sogenannte stochastische Resonanz dar. Sie bezeichnet ein Phänomen, bei dem durch zufällige Fluktuationen schwache Signale verstärkt werden. Dies konnte bereits in vielen physikalischen Systemen beobachtet werden und beruht auf drei Elementen. Diese sind Rauschen, ein unterschwelliges Signal und eine Schwelle. Auch biologische Systeme, z.B. Sinneszellen, zeigen dieses Verhalten (Hänggi, 2001). Sie leiten einen Reiz nur weiter, wenn ein Schwellenwert überschritten worden ist (Alles-oder-Nichts-Gesetz). Zur Auslösung eines Reizes wird im menschlichen Körper dieser Schwellenwert durch ein ständiges, unterschwelliges und stochastisches Verhalten der Nervenzellen verändert. Wenn der äußere Reiz

ebenfalls einen stochastischen Anteil besitzt (siehe Kapitel 2.2), können kurzfristige konstruktive oder destruktive Interferenzen zwischen dem inneren und äußeren stochastischen Anteil entstehen, die die Reizschwelle zur Erzeugung eines Aktionspotentials herabzusetzen oder zu steigern vermögen (Haas, 2008; Haas, Turbanski, Markitz, Kaiser & Schmidtbleicher, 2006c; Haas et al., 2007b). Infolgedessen kann auch bei niedrigen Vibrationsfrequenzen ein Reiz ausgelöst werden.

2.3. Effekte von Ganzkörpervibrationen

Eine Einsatzmöglichkeit der Ganzkörpervibrationstrainingsgeräte stellt der Bereich des Krafttrainings dar. Die Studienergebnisse in diesem Bereich gestalten sich nicht einheitlich. Untersuchungen, die ein Ganzkörpervibrationstraining über 8 Wochen bis 8 Monate begleiteten, zeigten unter anderem eine Steigerung der isometrischen Kraft der unteren Extremitäten oder eine Verbesserung der Sprungleistung bei *Counter Movement Jumps*, die die Autoren auf eine verbesserte Kraftfähigkeit zurückführten (Chen et al., 2014; Delecluse, Roelants & Verschueren, 2003; Roelants et al., 2004; Torvinen et al., 2002b; Torvinen et al., 2003). In einer anderen Studie von Torvinen et al. (2003) konnte nur ein signifikant positiver Effekt auf die Sprunghöhe in der Ganzkörpervibrationsgruppe festgestellt werden, wohingegen sich die Extensionskraft der unteren Extremitäten nicht veränderte. Weitere Studien zur Wirkung eines mehrwöchigen Vibrationstrainings zeigten keine positiven Veränderungen (de Ruiter, van Raak, Schilperoort, Hollander & de Haan, 2003) oder keinen additiven Effekt einer Vibrationseinwirkung zu einem reinen Krafttraining (Bertuzzi et al., 2013).

Diskutiert werden in diesem Zusammenhang neuronale und morphologische Adaptation durch das Vibrationstraining (Delecluse et al., 2003; Roelants et al., 2004; Torvinen et al., 2002b; Torvinen et al., 2003). So kann eine Hypertrophie nach einem 12-wöchigen Vibrationstraining nicht ausgeschlossen werden (Delecluse et al., 2003). Auch eine verbesserte intramuskuläre Koordination, eine Ko-Kontraktion des Synergisten und Inhibition des Antagonisten können denkbare Ursachen für eine Verbesserung der Kraftfähigkeit nach einem mehrwöchigen

Vibrationstraining sein (Delecluse et al., 2003; Torvinen et al., 2002b). Eine Placebowirkung des Vibrationstrainings kann jedoch ausgeschlossen werden (Delecluse et al., 2003).

2.3.1. Physiologische Effekte

In einem weiteren Erklärungsansatz zur Steigerung der Kraftfähigkeit durch ein Ganzkörpervibrationstraining wird die reflektorische Muskelkontraktion durch die vibrationsinduzierte Längenänderung mit dem tonischen Vibrationsreflex verglichen (Cardinale, Leiper, Erskine, Milroy & Bell, 2006; Erskine, Smillie, Leiper, Ball & Cardinale, 2007). Der tonische Vibrationsreflex wurde zuerst in Studien mit Tieren untersucht. Eine äußere, mechanische Vibrationseinwirkung in einem Frequenzbereich von 50 Hz - 500 Hz, die direkt auf die Sehne des M. soleus bei einer Katze aufgebracht wurde, erzeugte in diesem Muskel eine Reflexantwort. Eine Erhöhung der Frequenz hat einen geringen Einfluss auf die Spannungsentwicklung des Muskels. Eine maximale Muskelspannung kann nur über die Vergrößerung der Amplitude erreicht werden. Diese Reflexantwort führt ab einer gewissen Frequenz in dem vibrierten Muskel zu einer unwillkürlichen tonischen Reflexkontraktion und in dessen Antagonisten zu einer reziproken Hemmung (Hagbarth & Eklund, 1966). Diese Hemmung geschieht durch Ia hemmende Neurone (Cardinale & Bosco, 2003). Die unwillkürliche Reflexkontraktion wird als tonischer Vibrationsreflex (TVR) bezeichnet. Die Erzeugung eines TVR kann bestmöglich über die Vibrationseinwirkung direkt über eine Muskelsehne erreicht werden. Wenn die Amplitude jedoch groß genug ist, kann dies auch über den Muskelbauch ausgelöst werden (Eklund & Hagbarth, 1966).

Die Schwingungen und die damit verbundenen Längenänderungen der Muskulatur werden über die Muskelspindel registriert (de Gail, Lance & Neilson, 1966). Es kommt zu einer Entladung der primären (Typ Ia) und der sekundären (Typ 2) Muskelspindelendigungen (Brown, Engberg & Matthews, 1967). Es zeigt sich, dass die primären Spindelendigungen sehr sensibel auf longitudinale Schwingungen reagieren, wohingegen die sekundären eher unsensibel für diese

Art der Schwingung sind (Brown et al., 1967; Burke, Hagbarth, Löfstedt & Wallin, 1976; de Gail et al., 1966; Hagbarth & Eklund, 1966). Das Golgi Sehnenorgan reagiert ebenso unsensibel auf Vibrationen wie die sekundären Spindelendigungen (Brown et al., 1967; Cardinale & Bosco, 2003). Schlussendlich kommt es zur Aktivierung der Muskelfasern durch große Alpha-Motoneuronen (Torvinen et al., 2002a). Durch diese Reflexantwort und die damit einhergehende Kontraktion des Muskels wird die Muskelsteifigkeit moduliert, um die Schwingungsausbreitung im Körper zu dämpfen (Cardinale & Bosco, 2003) (siehe Abbildung 3).

Es wird vermutet, dass beim TVR mono- als auch polysynaptische Bahnen involviert sind (Cardinale & Bosco, 2003) und es konnte gezeigt werden, dass der TVR einen oder mehrere Interneurone einschließen kann (de Gail et al., 1966).

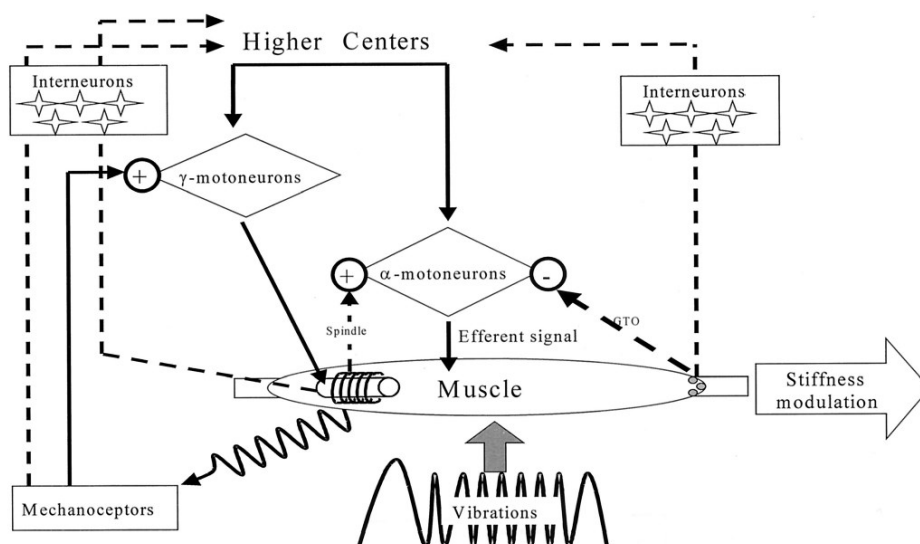


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Regulation der Muskelsteifigkeit (nach Cardinale & Bosco, 2003, S. 5)

Nach Beutler (2007) kommt es beim TVR zu einer Rekrutierung zusätzlicher motorischer Einheiten und damit einhergehend zu einer Erhöhung der Muskelkraft. Dies kann anhand einer erhöhten EMG Aktivität während einer Vibrationseinwirkung festgestellt werden. Diese EMG Aktivität ist hierbei höher als bei einer willentlich herbeigeführten Kontraktion (Cardinale & Bosco, 2003). Der Grad der Synchronisation der motorischen Einheiten und die Steigerung der EMG Aktivität hängt von der verwendeten Vibrationsfrequenz, der Position auf der Vibrationsplatte und dem anfänglichen Kontraktionslevel der untersuchten

Muskulatur ab (Di Giminiani, Masedu, Tihanyi, Scrimaglio & Valenti, 2013; Martin & Park, 1997). Diese Synchronisationsprozesse wirken wahrscheinlich auf die Muskulatur ermüdend (Martin & Park, 1997).

Eine Steigerung der Empfindlichkeit des Dehnungsreflexes durch eine vorangeschaltete Vibration könnte akute neuromuskuläre Verbesserungen nach einer Vibrationseinwirkung erklären (Cardinale & Bosco, 2003). Dieser Reflex kann in fast allen Muskeln des menschlichen Körpers, außer in den Gesichtsmuskeln und der Zunge, beobachtet werden (Eklund & Hagbarth, 1966). Die Stärke der Reflexantwort ist inter-individuell verschieden, kommt jedoch bei jedem Menschen vor (de Gail et al., 1966; Eklund & Hagbarth, 1966).

Weitere physiologische Veränderungen zeigen sich u.a. in der Herzfrequenz und der Respirationsrate (Kubo et al., 2001). Während sich der Herzschlag und der systolische und diastolische Blutdruck unter Belastung einer Übung mit und ohne Ganzkörpervibration gleichwertig verändert (Kersch-Schindl et al., 2001; Yamada et al., 2005), nimmt unter Vibrationseinwirkung das relative Blutvolumen im M. quadriceps und M. gastrocnemius zu (Kersch-Schindl et al., 2001). Zudem ist eine Erhöhung der Hauttemperatur feststellbar (Games & Sefton, 2013).

2.3.2. Physikalische und psychische Effekte

Zusätzlich zu diesen physiologischen Reaktionen des Körpers auf einen äußeren Vibrationsreiz bestehen weitere Erklärungsmöglichkeiten durch physikalische und psychische Effekte.

Als physikalischer Effekt der Vibrationswirkung wurde bereits die Resonanzeigenschaft des menschlichen Körpers erläutert (siehe Kapitel 2.2.1). Da die Resonanzfrequenz im menschlichen Körper von vielen verschiedenen Faktoren abhängt, ist die Vorhersage der Auswirkungen einer Vibration auf den Menschen schwierig.

Zu den psychischen Veränderungen zählen eine Zunahme der Müdigkeit und eine Abnahme der Geduldsfähigkeit (Kubo et al., 2001). Eine Langzeitstudie mit 293 männlichen Gabelstaplerfahrern konnten zeigen, dass eine Vibrationseinwirkung ($f < 2$ Hz) und Geräuschbelastung (77 bis 80 dB), wie sie für das Berufsfeld eines

Gabelstaplerfahrers typisch ist, einen Einfluss auf die Stimmung der Fahrer hat. Hierbei konnte eine Korrelation zwischen der Dauer der Belastung und ihrem Ergebnis beim *Profile of Mood States* festgestellt werden. Gegenüber der Kontrollgruppe zeigte sich in der Experimentalgruppe unter Vibrations- und Geräuschbelastung u.a. in folgenden Parametern eine Verschlechterung: Müdigkeit, Depression und Angstzustände (Abbate et al., 2004). Bereits während einer simulierten 90 minütigen Autofahrt (sitzende Position) mit 60 km/h bei einer Vibrationsfrequenz von 1,8 Hz bzw. 6 Hz nahm die Müdigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe (keine Vibration) zu, wobei die subjektive Zunahme der Müdigkeit bei der Vibrationsgruppe mit 6 Hz stärker anstieg. Die Unterschiede zwischen allen drei Gruppen (1,8 Hz, 6 Hz und keine Vibration) waren signifikant (Jiao et al., 2004). Die physikalischen, physiologischen und psychischen Reaktionen des Körpers sind frequenzabhängig (Kubo et al., 2001).

Der Frequenzbereich von 5 Hz (in sitzender Position) zeigt die höchste Transmissionsrate (physische Effekte) und auch die größten Veränderungen bei den psychischen Reaktionen (Müdigkeit) (Kubo et al., 2001).

2.3.3. Endokrine und cerebrale Veränderungen

Neben physikalischen, physiologischen und psychischen Auswirkungen einer Vibrationswirkung sind auch Auswirkungen auf das endokrine System bekannt (Bosco et al., 2000; Bosco et al., 1999; Kvorning, Bagger, Caserotti & Madsen, 2006). Hierbei gestalten sich die Ergebnisse ebenfalls nicht einheitlich. So konnten Bosco et al. (1999) eine signifikante Abnahme von Testosteron (T) und Cortisol (C) nach einer 7 minütigen Vibrationseinwirkung mit 26 Hz und einer Amplitude von 10 mm feststellen. Nur ein Jahr später zeigte sich in einer weiteren Studie von Bosco et al. (2000) ein anderes Bild: hier konnte eine signifikante Zunahme von Testosteron (T) und des Wachstumshormons (GH) im Blut festgestellt werden. Wie auch in der Studie von 1999 kam es ferner zu einer signifikanten Abnahme von Cortisol (C). Das Vibrationstreatment gestaltete sich in dieser Studie 3 Minuten länger. Auch wurde eine geringere Amplitude ($A = 4 \text{ mm}$) bei gleich

gewählter Frequenz ($f = 26 \text{ Hz}$) verwendet. Allerdings wurden in diesen beiden Studien, nur eine geringe Teilnehmeranzahl und keine Kontrollgruppe untersucht. Kvorning et al. (2006) konnten nach einem reinen Vibrationstreatment keine signifikante Veränderung für T nach einer Vibration mit 20 Hz bzw. 25 Hz feststellen. Für GH zeigte sich ein akuter, signifikanter Anstieg und für C ein akute, signifikante Verringerung nach einer Vibration mit 20 Hz. Wenn jedoch eine zusätzliche Last verwendet wurde, zeigte sich in allen drei Parametern (T, C und GH) ein signifikanter Anstieg. Andere Studien zeigten keine Veränderungen des endokrinen Systems (Cardinale et al., 2006; Erskine et al., 2007). Durch die Involvierung einer geringen Teilnehmeranzahl kann in diesen Studien ein Fehler der zweiten Art nicht ausgeschlossen werden (Cardinale et al., 2006). Auch könnte die Belastungsintensität der Ganzkörpervibration zu gering gewählt gewesen sein, um eine hormonelle Reaktion hervorrufen zu können. So wurden einerseits eine statische Übung (Erskine et al., 2007) und andererseits eine geringe Vibrationsamplitude gewählt (Cardinale et al., 2006). Kvorning et al. (2006) konnten die größten Effekte mit einer Zusatzlast erreichen.

Des Weiteren wurden tierexperimentelle Untersuchungen an Ratten vorgenommen, um den Einfluss einer Vibrationseinwirkung auf die Neurotransmitterkonzentration im Gehirn zu untersuchen. Ein 240-minütiges Vibrationstreatment kann bei den untersuchten Tieren zu einer Veränderung der Neurotransmitterkonzentration führen. Diese Veränderungen sind jedoch von der Lokalisierung im Gehirn und der Vibrationsintensität abhängig. So konnte gezeigt werden, dass sich die Konzentration von Noradrenalin (NA) im Gehirn der Ratten nach einer Vibrationseinwirkung von 20 Hz und einer Beschleunigung von 5 g signifikant verringert, speziell im Hypothalamus. Diese Veränderung war von der Beschleunigung abhängig, mit geringeren Beschleunigungswerten wurde diese Veränderung nicht gezeigt. Ferner konnte ein signifikanter Anstieg in der Konzentration von Serotonin (5-HAT) im Cerebellum und Hypothalamus festgestellt werden. Ein Einfluss auf Dopamin (DA) wurde nicht beobachtet (Ariizumi & Okada, 1985).

Demgegenüber konnte eine Studie mit einer 90-minütigen Vibrationseinwirkung (20 Hz, 4 g) Effekte auf die Dopaminkonzentration im Gehirn von Ratten

feststellen. Hierbei wurde ein messbarer Anstieg von DA und Homovanillinsäure (HVA) in der Nucleus accumbens direkt nach der Vibrationseinwirkung festgestellt. Die HVA/DA-Rate war im frontalen Cortex signifikant angestiegen. Keine Veränderungen zeigten sich im Striatum (Nakamura, Moroji, Nohara, Nakamura & Okada, 1992). Daher kann davon ausgegangen werden, dass eine intensive Vibrationseinwirkung mentalen Stress auslösen kann (Nakamura et al., 1992). Diese Auswirkungen können unter anderem die veränderte Aktivität des Sympathikus in der Studie von Jiao et al. (2004) erklären, da Noradrenalin hauptsächlich auf den Sympathikus einwirkt (Speckmann & Wittkowski, 1994).

Für Untersuchungen an Menschen wurden verschiedene MRT- und PET-Studien durchgeführt, um den Einfluss eines Vibrationsreizes auf den cerebralen Blutfluss und selbige Aktivität zu untersuchen (Bonhomme et al., 2001; Golaszewski et al., 2006; Harrington & Downs III, 2001; Li et al., 2012). In diesen Studien wurde der Vibrationsreiz immer während der Messung an unterschiedlichen Körperstellen aufgebracht. In sitzender Position konnte ein erhöhter Sauerstoffbedarf im präfrontalen Cortex und eine damit erhöhte Aktivität in diesem Bereich während einer Vibrationseinwirkung mit 4,5 Hz bzw. 6 Hz und einer durchschnittlichen Beschleunigung von 0,2 g erzielt werden (Li et al., 2012). Auch eine plantar einwirkende Vibration mit 50 Hz bewirkt eine neuronale Aktivität im kortikalen und subkortikalen Bereich während der Vibrationseinwirkung. Diese betreffen u.a. den primären somatosensorischen Cortex, den sekundären somatosensorischen Cortex und dem Thalamus (Golaszewski et al., 2006).

Desgleichen konnte eine signifikante Steigerung des regionalen cerebralen Blutstroms in verschiedenen Bereichen während einer Vibrationseinwirkung auf den rechten Unterarm mit 110 Hz festgestellt werden. Zu den Bereichen gehören der linke Thalamus, der linke primäre somatosensorische Cortex, sowie der linke und rechte sekundäre somatosensorische Cortex (Bonhomme et al., 2001). Ebenfalls ist es wahrscheinlich, dass ein Unterschied in der kortikalen Repräsentation von Meissner- und Pacini-Afferenzen vorliegt. Zwar konnten während einer Vibration mit 35 Hz und 150 Hz keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden, jedoch unterstützen die Ergebnisse die Theorie, dass Pacini-Afferenzen

einen größeren Effekt auf die Region des sekundären somatosensorischen Cortex haben, als Meissner-Afferenzen (Harrington & Downs III, 2001).

Vibrationseinwirkungen auf den menschlichen Körper lösen viele verschiedene Reaktionen aus. Sie können dort auf unterschiedlichen Ebenen stattfinden und manifestieren sich in einer großen Variabilität in den Ergebnissen von Vibrationsstudien. Diese Unterschiede in den Ergebnissen können durch die verschiedenen Vibrationsparameter (Amplitude und Frequenz), die unterschiedlichen Zusammensetzungen der Probandenkollektive (Alter und Fitnessstand), das Studiendesign und die Position auf der Vibrationsplatte geschuldet sein (Fratini, Bifulco, Romano, Clemente & Cesarelli, 2014; Friesenbichler, Nigg & Dunn, 2013). Daher gestaltet sich ein Vergleich der unterschiedlichen Studien schwierig und es besteht ein großer Forschungsbedarf, um die Auswirkungen von Veränderungen der einzelnen Vibrationsparameter auf die Reaktionen im menschlichen Körper feststellen zu können.

Im Weiteren werden die Bereiche der Zielmotorischen Bewegungen, Gleichgewicht und Aufmerksamkeit kurz theoretisch erläutert. Direkt im Anschluss erfolgt jeweils die Darstellung der Forschungsergebnisse von Vibrationsstudien zu diesen Themenbereichen.

2.4. Zielmotorische Bewegungsabläufe

Durch das komplexe Zusammenspiel von unterschiedlichen Skelettmuskeln und der damit einhergehenden Längen- und Kraftänderung der einzelnen Muskeln ist der Mensch in der Lage, Bewegungen auszuführen (de Marées & Heck, 2006). Diese können bewusst und unbewusst ablaufen und werden unter dem Begriff der Zielmotorik zusammengefasst (Markworth, 2003). In der Regel wird eine unbewusste Zielbewegung durch eine Reizung von Hautrezeptoren ausgelöst. Die Kontraktion des Muskels geschieht durch eine Verschaltung im Rückenmark und es kann zu einer Beteiligung von mehreren Muskeln kommen. Diese Art der Bewegungsausführung ist weitgehend vorgegeben und kann nur wenig verändert werden (Speckmann & Wittkowski, 1994).

Eine bewusste Steuerung demgegenüber führt zu fein abgestuften Bewegungen. Hierfür müssen verschiedene, neuronale Informationsverarbeitungsprozesse durchlaufen werden. Zu Beginn kommt es zur Bewegungsplanung in verschiedenen Einzelstrukturen des Gehirns. Danach entstehen unter Beteiligung der Hirnrinde komplexe Bewegungsprogramme. Diese werden als Erregungsprogramme in das Rückenmark geleitet und von dort gelangen sie über Nerven zur Skelettmuskulatur (Speckmann & Wittkowski, 1994).

Demgegenüber steht die Stütz- und Haltemotorik, die dafür Sorge trägt, dass Skelett zu stützen und darüber eine Körperposition zu halten. Diese Position ist jedoch nicht starr, sondern angepasst an die äußeren Bedingungen und wird größtenteils über das Rückenmark gesteuert. Dies bezeichnet man als Spinalmotorik (de Marées & Heck, 2006; Speckmann & Wittkowski, 1994). Die Spinalmotorik bewältigt einfache Haltungs- und Bewegungsaufgaben durch mono- und polysynaptische Reflexe (de Marées & Heck, 2006).

Jedoch können auch motorische Hirnstammzentren in die Steuerung der Stütz- und Haltemotorik mit einfließen (Lehmann-Horn, 2011). Diese wirken hemmend oder fördernd auf Interneurone im Rückenmark und gestalten hierüber die reflektorische Antwort auf einen Reiz variabler. Die Latenzzeit der Halte- und Stellreflexe erhöht sich durch das Einwirken der höheren Zentren (de Marées & Heck, 2006). Bei jeder Art der Bewegungsausführung sind Stütz- und Haltemotorik sowie die Zielmotorik beteiligt (Markworth, 2003). Nur durch diesen präzisen koordinativen Prozess ist es möglich, Bewegungen auszuführen und dabei nicht aus dem Gleichgewicht zu gelangen (de Marées & Heck, 2006).

Die motorischen Zentren sind für die nervale Kontrolle der Haltung und Bewegung zuständig. Diese sind über verschiedene Bereiche des zentralen Nervensystems verteilt und stark hierarchisch gegliedert (Markworth, 2003). Höhere Zentren üben häufig einen hemmenden Einfluss auf die niedrigere Ebene aus (Lehmann-Horn, 2011).

In den kortikalen und subkortikalen Motivationsarealen erfolgt der Bewegungsantrieb. Ob daraufhin eine Bewegung eingeleitet wird, wird im limbischen und frontalem Cortex entschieden.

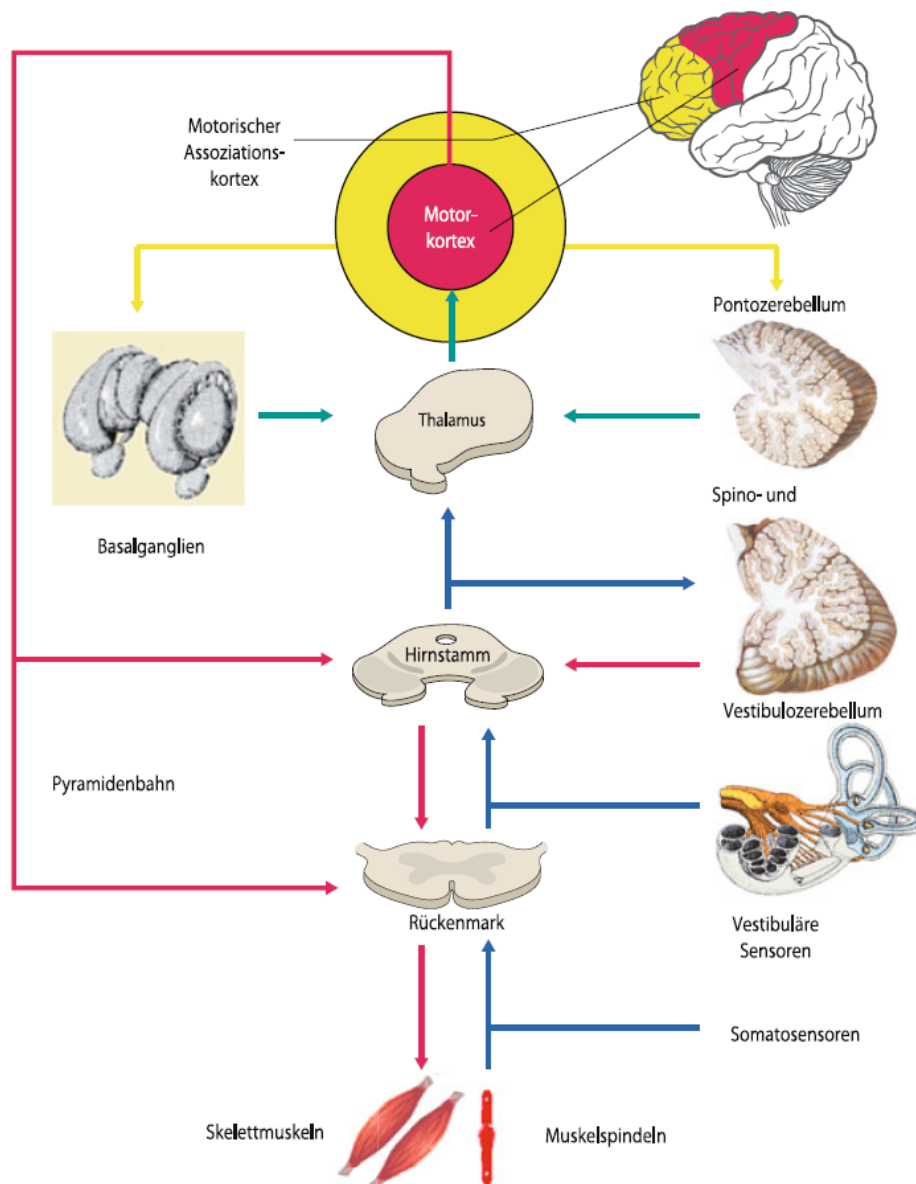


Abbildung 4: Übersicht über die motorischen Systeme (nach Lehmann-Horn, 2011, S. 161)

In Abbildung 4 ist eine schematische Übersicht der aufeinanderfolgenden Schritte dargestellt. Die Bewegungsplanung als Umsetzung der Bewegungsabsicht erfolgt im motorischen Assoziationscortex (gelber Bereich). Das Bewegungsprogramm wird im Motorcortex, Cerebellum (u.a. Prontozerebellum), den Basalganglien und im motorischen Thalamus erstellt (gelbe und grüne Pfeile) (Lehmann-Horn, 2011). Die Anpassung an die äußeren Situationen, die stützmotorische Anpassung und die räumlich-zeitliche Gliederung dieses Bewegungsprogramms erfolgt im Cerebellum und den Basalganglien (de Marées & Heck, 2006). Der Motorcortex leitet dieses Bewegungsprogramm unter Einbeziehung des Hirnstamms und des

Rückenmarks an die ausführende Ebene, die Skelettmuskulatur. Die roten Pfeile stellen die Pyramidenbahnen als direkte Verbindung zwischen dem Motorcortex und dem Rückenmark dar. Für die zielgerichtete Ausführung einer Bewegung benötigt das motorische System Informationen über die Ausgangsstellung des Körpers und seiner Gliedmaßen. Diese Informationen erfassen propriozeptive und vestibuläre Rezeptoren und leiten diese über den Hirnstamm direkt zum Cerebellum (blaue Linien) (Lehmann-Horn, 2011). Da alle motorischen Leistungen Informationen aus der Sensorik benötigen, bezeichnet man dies auch häufig als Sensomotorik (de Marées & Heck, 2006).

Als Überträgerstoffe im Zentralnervensystem dienen u.a. Azetylcholin, GABA (γ -amino-butyric acid), Glutamat, Adrenalin, Noradrenalin und Dopamin. Der am meisten verbreitete, hemmende Überträgerstoff ist die Aminosäure GABA, wohingegen Glutamat erregend wirkt. Adrenalin, Noradrenalin und Dopamin wirken auf zentraler und peripherer Ebene erregend oder hemmend (Heckmann & Dudel, 2011).

2.4.1. Feinkoordinative Bewegungen

Bei der Ausführung von langsamen Zielbewegungen stellen die Basalganglien einen Funktionsgenerator dar. Sie bilden ein Bindeglied zwischen sensorischen und motorischen Gehirnarealen. Sie erhalten - neben den Afferenzen aus der gesamten Großhirnrinde - Informationen aus dem vestibulären System, von Muskelspindeln und Gelenkrezeptoren. Diese Informationen leiten sie über den Thalamus im Zwischenhirn an den Motorcortex weiter (Markworth, 2003). Die Basalganglien dienen außerdem der Ausführung der Bewegung durch Hemmung ungewollter Bewegungen und Verstärkung der gewollten Bewegung durch Herabsetzung der Durchführungsschwelle (Lehmann-Horn, 2011).

Neben den Basalganglien steigert das Cerebellum die Bewegungsgenauigkeit. Es überwacht die Aktivität des Hirnstammes, der kortikalen motorischen Felder und der sensorischen Rückmeldung aus der Peripherie. Darüber geschieht ein Vergleich der absteigenden motorischen Befehle und der Informationen über die daraus folgende Handlung. Das Cerebellum kann auf den Hirnstamm und die

kortikalen motorischen Felder einwirken (Ghez & Gordon, 1996). Das Cerebellum wird funktionell in drei Bereiche unterteilt: Vestibulocerebellum, Spinocerebellum und Pontocerebellum. Im Pontocerebellum werden die Zielbewegungen fein abgestimmt und korrigiert (Lehmann-Horn, 2011).

Im Motorcortex ist die gesamte Skelettmuskulatur landkartenartig repräsentiert. Die Größe der Areale richtet sich nach der Anzahl der motorischen Einheiten. Je motorisch differenzierter die Skelettmuskulatur ist, desto größer ist die Anzahl der motorischen Einheiten und damit ist der Bereich größer, der auf dem Motorcortex beansprucht wird (de Marées & Heck, 2006; Markworth, 2003).

Auch die Spindeldichte in der Muskulatur ist abhängig von der Größe und Funktion des Muskels. In der Hand, die feinkoordinierte Bewegungen durchführen kann, sind bis zu 130 Spindeln pro Gramm zu finden. Demgegenüber befinden sich in der proximalen Muskulatur weniger als eine Spindel pro Gramm (de Marées & Heck, 2006).

Eine Limitierung bei einer feinkoordinativen Aufgabe stellt der Tremor dar. Der Tremor „ist durch eine unwillkürliche, rhythmische, oszillierende Bewegung mindestens einer funktionellen Region definiert“ (Deuschl, Raethjen & Köster, 2005, S. 255). Der Begriff Tremor wird häufig mit dem Krankheitsbild der Parkinson-Krankheit verbunden. Neben diesem pathologischen Erscheinungsbild gibt es jedoch auch eine Tremorart, die bei gesunden Personen in einem unterschiedlichen Ausmaß vorhanden ist, der physiologische Tremor (Findley, 1996). Der physiologische Tremor erhöht sich bei Muskelermüdung, Angst, Anspannung oder unter Drogeneinfluss. Dann wird er als verstärkter physiologischer Tremor bezeichnet (Elble, 1996).

Für die Entstehungsursachen des physiologischen Tremors beziehen sich Bain (1993) und ebenso Findley (1996) auf die Arbeit von Marsden (1984). Er gibt als allgemeine Ursachen für den physiologischen Tremor den Herzschlag, die Resonanz der Körperteile, die Tiefpassfilterung durch die quergestreifte Muskulatur, die asynchrone Feuerung der Motorneuronen und die Synchronisation der Muskelspindel an. Im Ruhezustand ist der kardiologische Anteil der ausschlaggebende Faktor des Tremors. Bei einer Bewegungsausführung verliert dieser Anteil an Bedeutung (Elble, 1996). Elble (1996) davon aus, dass die

Entstehungsursachen des physiologischen Tremors innerhalb des zentralen Nervensystems liegen.

2.4.2. Effekte einer Ganzkörpervibration auf feinkoordinative Bewegungen

Der Einfluss einer Vibrationseinwirkung auf eine parallel ausgeführte Handbewegung wurde in einigen Studien überprüft.

Costa, Arezes & Melo (2012) untersuchten in einem Feldtest die Auswirkung einer Vibration auf die dynamische Handkoordination. Hierbei führten 45 Probanden einen „Omega Test“ in einem fahrenden Auto aus. Die Probanden sollten mit einem Pointer eine vorgegebene Strecke durchwandern und durften dabei den Rand der Strecke nicht berühren. Erfasst wurden hierbei die Fehler, die Fehlerdauer und die Bearbeitungszeit. Der Straßenbelag wechselte bei den einzelnen Testdurchläufen zwischen Asphalt und Pflastersteinen. Durch diesen unterschiedlichen Untergrund waren die gemessenen Beschleunigungswerte in allen drei Achsrichtungen im Fahrzeug verschieden. Für die vertikale Komponente (Z-Richtung) variierten sie im Mittel zwischen $0,20 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$ für Asphalt und $0,54 \pm 0,05 \text{ m/s}^2$ für Pflastersteine. Das Fahrzeug fuhr dabei eine definierte Strecke in Form eines Kreises ab. Im Vergleich zum stehenden Auto kam es bei allen drei Parametern des „Omega Tests“ zu einer Verschlechterung. Die erreichten Leistungen im „Omega Test“ waren zwischen den einzelnen Bedingungen (Asphalt, Pflasterstein und stehendes Auto) in allen Kombinationen statistisch signifikant. Anhand der Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass es zu motorischen Beeinträchtigungen unter einem Vibrationseinfluss kommt, abhängig vom Vibrationslevel eines fahrenden Fahrzeugs. Die Probanden konnten die äußeren Störeinflüsse nicht antizipieren und mit einer Bewegungskorrektur reagieren.

Weitere Studien konnten einen Effekt einer Vibrationswirkung auf die Ausführung einer Handbewegung beobachten. Während einer Vibrationseinwirkung von 60 Hz - 70 Hz auf die Sehnen des M. biceps brachii und / oder des M. deltioideus wurde eine Veränderung auf die Zeichnung von Kreisen beobachtet. Unter der

ausschließlichen Einwirkung der Vibration auf den M. biceps brachii verringert sich der Durchmesser der Kreise, die Form der Kreise verändert sich, und es wurden systematische Drifts der Hand beobachtet (siehe Abbildung 5B). Bei der Vibrationseinwirkung auf beide Muskeln verstärkt sich die Drift (siehe Abbildung 5D) (Verschuere et al., 1999a).

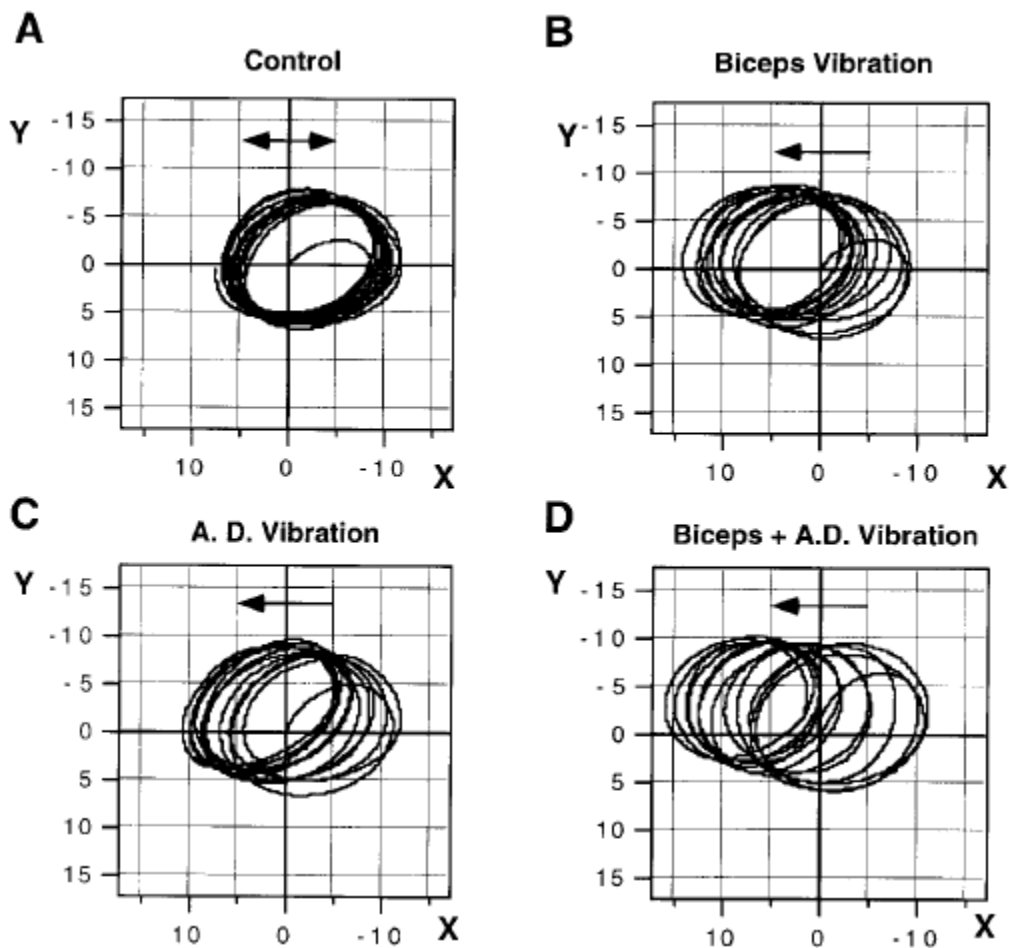


Abbildung 5: Effekte von Vibrationen auf die Handbewegung (nach Verschuere et al., 1999a)

Diese Effekte konnten auch bei einer beidhändigen Ausführung der Bewegung beobachtet werden. Die Vibrationen wirkten hierbei auf die zeitliche Kopplung der Hände ein, ließen den räumlichen Charakter der kontralateralen Handbewegung jedoch unbeeinflusst (Verschuere et al., 1999b). Die Autoren schlossen daraus, dass das zentrale Nervensystem die Informationen des Ellenbogens und der Schulter kombiniert, um den räumlichen Charakter der Handbewegung zu steuern

(Verschuere et al., 1999a), wobei die räumliche Komponente, im Gegensatz zur zeitlichen, unilateral kontrolliert wird (Verschuere et al., 1999b).

Ein Erklärungsansatz für diese Drifts in der Handbewegung stellt die kinästhetische Illusion dar. Hierbei handelt es sich um Desinformationen über die Gelenkstellung, wenn die Muskelspindeln die von außen aufgebrachten Vibrationen nicht richtig interpretieren können (Haas, Turbanski, Kaiser & Schmidtbleicher, 2004a). Die kinästhetische Illusion ist frequenzabhängig: Bei einer Frequenz von 20 Hz konnte ein „overshooting“ in der Bewegung festgestellt werden, während bei einer Frequenz von 30 Hz keine Effekte vorhanden waren. Bei 40 Hz zeigten sich demgegenüber „undershooting“ Effekte (Cordo, Gurfinkel, Bevan & Kerr, 1995). Das Ausmaß der kinästhetischen Illusion ist daher von der Geschwindigkeit der Bewegungsausführung abhängig. Bei steigender Geschwindigkeit in der Bewegungsausführung nimmt die durch eine Vibration ausgelöste Abweichung in der Zielbewegung ab. Dies wird durch einen partiellen Wechsel von einer closed – loop zu einer open – loop Kontrolle erklärt (Steyvers, Verschuere, Levin, Ouamer & Swinnen, 2001).

Die Studien von Costa et al. (2012) und Verschuere et al. (1999a; 1999b) untersuchten jedoch nur die Veränderung während der Vibrationseinwirkung, eine Messung im Anschluss an diese Vibrationsbelastung wurde nicht erfasst.

Bei Parkinson-Patienten wurde dies durchgeführt. Nach einer Vibrationseinwirkung, die in stehender Position auf einer Vibrationsplatte mit einer Frequenz von 4-6 Hz und einer Amplitude von 4 mm durchgeführt wurde, konnten positive Effekte auf die Handkoordination festgestellt werden, obwohl die Vibrationen nur auf die unteren Extremitäten eingewirkt haben. Die Effektdauer umfasste hierbei, je nach Versuchsperson, ein Spektrum zwischen 2 und 48 Stunden. Die Effektdauer und –stärke war allerdings in einer Längsschnittanalyse intraindividuell reproduzierbar (Haas & Schmidtbleicher, 2002). Daher kann diese Veränderung nicht nur durch eine rein muskuläre Beeinflussung zustande gekommen sein. Diese Effekte könnten durch eine Modifizierung der kortikalen oder subkortikalen Funktionen (Haas et al., 2006b) oder der Neurotransmitterkonzentration, wie sie in verschiedene Tierexperimenten gezeigt werden konnte, entstehen (Haas & Schmidtbleicher, 2002) (siehe Kapitel 2.3.3).

Ferner kann eine Placebowirkung nicht gänzlich ausgeschlossen werden, erscheint aber auf Grundlage der Effektgröße eher unwahrscheinlich (Haas et al., 2006b). Wahrscheinlich ist eine Modifikation der Aktivierung des Thalamus oder des somatosensorischen Cortex, die bei Parkinson Patienten krankheitsbedingt verändert sind (Haas & Schmidtbleicher, 2002; Haas et al., 2006b). Ungeklärt bleibt in der aktuellen Forschungslage die Frage, ob diese positiven Effekte auch bei einem gesunden Probandenkollektiv zu beobachten sind oder der Vibrationseinfluss nur das Ausmaß der krankheitsbedingten Symptome verringert.

2.5. Gleichgewicht

„Balance can be defined as the ability to maintain the body`s center of gravity over its base of support with minimal sway or maximal steadiness“ (Emery, Cassidy, Klassen, Rosychuk & Rowe, 2005, S. 503). Nach dieser Definition muss für ein Gleichgewicht im Stand der Körperschwerpunkt über der Unterstützungsfläche liegen. Hierbei stellt die Unterstützungsfläche jene Fläche dar, die durch eine Projektion der Unterstützungspunkte eines Körpers gebildet wird, z.B. durch die Füße einer stehenden Person (Wick, 2009). Um dies zu gewährleisten, benötigt das zentrale Nervensystem Informationen des visuellen, somatosensorischen und vestibulären Systems (Buchanan & Horak, 1999; Gill et al., 2001).

Das somatosensorische System umfasst die Mechanorezeption (Tastsinn der Haut), die Propriozeption (Wahrnehmung der Muskelkraft und der Position des eigenen Körpers), die Thermorezeption (Temperatur), die Nozizeption (Schmerz) und Viszerozeption (Sinneswahrnehmung aus den Eingeweiden) (Treede, 2011). Zur Gleichgewichtskontrolle tragen vom somatosensorischen System primär die Mechanorezeptoren (Magnusson, Enbom, Johansson & Pyykkö, 1990; Roll, Kavounoudias & Rolle, 2002) und die Propriozeption bei, diese werden im Folgenden kurz erläutert.

Zu den Mechanorezeptoren werden die Merkel-Zellen, Ruffini-, Meissner- und Pacini-Körperchen gezählt. Sie befinden sich in der Haut und liefern Informationen über Druck, Berührung und Vibration. Hierbei reagieren Pacini-Rezeptoren auf Vibrationen in einem Frequenzbereich von 100 Hz bis 200 Hz besonders gut,

wohingegen die Meissner-Rezeptoren eher auf einen Frequenzbereich unterhalb von 40 Hz ansprechen (Treede, 2011). Die Anzahl dieser Rezeptoren ist in den einzelnen Körperregionen unterschiedlich (Treede, 2011). In den Füßen ist die Intensitätsschwelle für taktile Reize aufgrund der Verhornung sehr hoch, dennoch wird über die Füße die Verteilung des Drucks wahrgenommen. Durch diese Verteilung kann der Körper indirekt Rückschlüsse auf die Lagerung des Körperschwerpunktes ziehen (Ludwig & Schmitt, 2006; Treede, 2011).

Die Rezeptoren für die Propriozeption sind Muskelspindeln, Golgi-Sehnen-Organ, freie Nervenendigungen und Ruffini-Endigungen. Die freien Nervenendigungen und die Ruffini-Endigungen befinden sich in der Gelenkkapsel. Die Muskelspindel liegt parallel zum Muskel und erfasst primär die Längenänderung des Muskels. Das Golgi-Sehnen-Organ hingegen ist in Serie zum Muskel angeordnet und befindet sich im Übergang zwischen Muskel und Sehne. Es erfasst die Spannung (Treede, 2011). Die Rezeptoren für das vestibuläre System liegen im Innenohr und umfassen zwei Macularorgane und drei Bogengangorgane. Hierbei nehmen die Macularorgane die geradlinige Beschleunigung wahr und die Bogenorgane die Drehbeschleunigung (Speckmann & Wittkowski, 1994).

All diese Rezeptoren liefern Informationen, die eine Voraussetzung darstellen, damit die Muskulatur im Fall eines Ungleichgewichts die adäquaten Ausgleichsbewegungen ausführen kann (Taube, Gollhofer & Gruber, 2009).

Dem visuellen System wird eine übergeordnete Rolle bei der Erhaltung des Gleichgewichts gegenüber dem somatosensorischen und vestibulären Systems zugeordnet (Ludwig & Schmitt, 2006). Um diese Dominanz auszuschalten, werden viele Testungen der Gleichgewichtsfähigkeiten mit geschlossenen Augen durchgeführt.

Die Informationen der verschiedenen Rezeptoren werden über afferente Bahnen weitergeleitet und gelangen über Verschaltungen im Thalamus zum Cortex. Hier liegt eine Aufteilung nach Körperregionen vor (Speckmann & Wittkowski, 1994). Die Sinneseindrücke des visuellen Systems werden im Sehfeld des Cortex im Lobus occipitalis verarbeitet (Eysel, 2011; Speckmann & Wittkowski, 1994). Die Verarbeitung der vestibulären Informationen erfolgt über verschiedene

Vestibularkerne und den Thalamus, bevor sie zum Cortex gelangen. Zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts werden die Informationen des Vestibularapparats mit den Informationen der Propriozeption verbunden. Dies muss geschehen, da durch den Vestibularapparat nur eine Information über die Lage des Kopfes im Raum gegeben wird. Ob diese Lage durch Schiefstellung des Kopfes oder durch eine Neigung des gesamten Körpers geschieht, kann der Vestibularapparat nicht erfassen. Diese Information kann erst durch propriozeptive Signale der Halsmuskulatur registriert werden. Sie übermitteln die Haltung des Kopfes gegenüber dem Rumpf. Erst durch diese zusätzliche Information kann die Gesamtkörperhaltung erkannt werden (Zenner, 2011).

Die Vestibularkerne sind ebenfalls noch mit dem motorischen und vegetativen System verbunden. Für die Aufrechterhaltung eines Gleichgewichts ist besonders die Verknüpfung zum motorischen System von Bedeutung. Hierbei besteht die Verbindung durch einen Informationsfluss zu den motorischen Nervenzellen des Rückenmarks und zum Cerebellum (Speckmann & Wittkowski, 1994). In einer PET- und MRT-Studie konnte belegt werden, dass während des Stehens und in unterschiedlichen Gleichgewichtsaufgaben spezifische Bereiche des Cerebellums aktiv sind. Bei einem Einbeinstand mit geöffneten Augen zeigt sich eine gesteigerte Aktivität gegenüber einer liegenden Position im Lobus anterior und posterior auf der Seite des Standbeines und im Vermis cerebelli (Ouchi, Okada, Yoshikawa, Nobezawa & Futatsubashi, 1999). Der Lobus anterior wird funktionell zum Spinocerebellum zugeordnet. Dies beinhaltet auch den Vermis cerebelli und erhält Informationen von der Haut und dem Bewegungsapparat. Die gesamte Muskulatur wird in diesem Bereich des Cerebellums abgebildet. Das Spinocerebellum steht über efferenten Bahnen mit den Motoneuronen im Rückenmark in Verbindung und beeinflusst hierdurch die Körperhaltung (Speckmann & Wittkowski, 1994). Der Lobus posterior wird funktionell zum Pontocerebellum gezählt und empfängt hauptsächlich Informationen aus dem Assoziationscortex und prämotorischen Zentren. Hier wird eine Feinabstimmung der Bewegung vorgenommen (Lehmann-Horn, 2011).

2.5.1. Effekte einer Ganzkörpervibration auf die Gleichgewichtsregulation

Effekte einer Ganzkörpervibration konnten sowohl bei Parkinson-Patienten als auch bei gesunden Probanden nachgewiesen werden. Für die Ursachen dieser Veränderungen werden unterschiedliche Erklärungsansätze diskutiert.

Bei Parkinson-Patienten konnte gezeigt werden, dass ein 5-minütiges, stochastisches Vibrationstreatment mit einer Frequenz von 5-6 Hz und einer Amplitude von 3 mm zu einer akuten Verbesserung in der Gleichgewichtsregulation im Vergleich zu einer Kontrollgruppe führt (Haas et al., 2006b; Turbanski, 2006). Eine Vermutung, dass die Vibrationseinwirkung nur den Ausprägungsgrad des Krankheitsbildes der Parkinson-Erkrankung reduziert, die durch eine Verringerung der Thalamusaktivierung entsteht, konnte von einer Studie von Torvinen et al. (2002a) widerlegt werden. Sie führten ein 4-minütiges Vibrationstreatment mit einer ansteigenden Frequenz von 15 Hz bis 30 Hz und einer damit verbundenen Beschleunigung von 3,5 g bis 14 g mit einem jungen, gesunden Probandenkollektiv durch. Auch in dieser Probandengruppe konnten positive Effekte eines Vibrationstreatments gegenüber der Kontrollgruppe in dem Gleichgewichtsparameter „Stabilitätsplattform“ in einer Messung 2 Minuten nach dem Treatment nachgewiesen werden. Die Effekte dauerten jedoch nur kurz an und verschwanden nach einem Zeitraum von einer Stunde vollständig. Die Autoren vermuten eine Verbesserung der neurogenen Adaptation und Stimulation der Muskulatur der unteren Extremitäten durch die Vibration. Daher scheinen die Veränderungen nicht nur mit dem Krankheitsbild der Parkinson Erkrankung zusammenzuhängen, die eine Veränderung in der Produktion des Neurotransmitters Dopamin hervorruft.

Weitere Autoren konnten eine signifikante Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit bei einem gesunden, jungen Probandenkollektiv durch ein kurzes Vibrationstreatment (4 bzw. 5 Minuten) feststellen (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012). Diese Verbesserungen konnten bei einer Vibrationsfrequenz von 6 Hz bzw. 27 Hz beobachtet werden.

Die Studienergebnisse machen deutlich, dass die Effekte eines Vibrationstreatments von der Vibrationsfrequenz abhängig sind. Während bei

Haas et al. (2004b) eine Frequenz von 10 Hz zwar zu einer 19%-igen Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit führt - jedoch ohne Nachweis der statistischen Signifikanz - konnten die Autoren bei einer Vibrationsfrequenz von 6 Hz mit demselben Probandenkollektiv signifikante Verbesserungen in der Gleichgewichtsfähigkeit nachweisen.

Pollock et al. (2011) konnten hingegen bei einem jungen, gesunden Probandenkollektiv und einem 5-minütigen Vibrationstreatment mit 30 Hz und einer Amplitude von 8 bzw. 4 mm keine signifikanten Verbesserungen nachweisen.

Eine Verbesserung der Rezeptorsensibilität an der Fußsohle durch eine Vibrationseinwirkung als mögliche Ursache für eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit (Haas et al., 2004b) konnte nicht bestätigt werden. Vielmehr kommt es nach einem Vibrationstraining zu einem Verlust der Fußsohlensensibilität (Druck und Vibration) (Pollock et al., 2011; Schlee et al., 2012; Sonza, Maurer, Achaval, Zaro & Nigg, 2013), die scheinbar durch eine Desensibilisierung der Pacini- und der Merkel-Zellen ausgelöst wird. In Tierversuchen mit Rhesusaffen konnte bei verschiedenen Vibrationsfrequenzen von 30-300 Hz eine selektive Reduktion der Empfindlichkeit der Mechanorezeptoren nachgewiesen werden (Bensmaia, Leung, Hsiao & Johnson, 2005). Da Mechanorezeptoren wichtige Informationen für den Erhalt des Körpergleichgewichts liefern (Magnusson et al., 1990; Roll et al., 2002), hat die Reduktion der Rezeptorsensibilität einen negativen Einfluss auf die Gleichgewichtsregulation, sodass weitere Ursachen für die verbesserten Gleichgewichtsfähigkeiten nach einem Vibrationstraining angenommen werden müssen.

Als mögliche Ursachen werden neuromuskuläre Anpassungen der Muskulatur der unteren Extremitäten und eine damit einhergehende Verbesserung der muskulären Koordination (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a; Turbanski, 2006), eine Modifizierung der kortikalen und subkortikalen Aktivierungsmuster, sowie eine Verschiebung der selektiven Aufmerksamkeit (Haas et al., 2004b; Turbanski, 2006) diskutiert.

Gegenüber diesen kurzfristigen Effekten konnte durch ein längerfristiges Trainingsprogramm (6 Wochen bis 8 Monate) auf der Vibrationsplatte bei einem gesunden, jungen Probandenkollektiv in vielen Studien keine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit gezeigt werden (Mahieu et al., 2006; Schlee & Milani, 2012; Torvinen et al., 2002b; Torvinen et al., 2003). Es wird vermutet, dass die physische Leistungsfähigkeit der Teilnehmer zu gut war und daher keine Notwendigkeit für den Körper bestand, auf das längerfristige Vibrationstraining zu reagieren (Mahieu et al., 2006; Schlee & Milani, 2012; Torvinen et al., 2003). Nur eine Studie zeigte auch bei einem jungen Probandenkollektiv eine Verbesserung in der Gleichgewichtsfähigkeit nach einem 8 wöchigen Vibrationstraining. Dies erklären sich die Autoren durch eine neuromuskuläre Adaptation, die durch das Vibrationstraining ausgelöst wurde (Chen et al., 2014).

Für ein älteres Probandenkollektiv scheinen die positiven Effekte eines Vibrationstrainings auf die Gleichgewichtsfähigkeit größer zu sein. Diese Verbesserung zeigte sich bei Bewohnern von Pflegeheimen schon nach einem Vibrationstraining mit einem zeitlichen Umfang von 6 Wochen (Bautmans, van Hees, Lemper & Mets, 2005; Bruyere et al., 2005), jedoch nicht in einer akuten Veränderung direkt nach dem Vibrationsreiz (Carlucci, Mazzà & Cappozzo, 2010). Andere Studien, die sich über einen längeren Zeitraum (2 bis 12 Monate) erstreckten, konnten ebenfalls positive Effekte von Vibration auf die Gleichgewichtsfähigkeit älterer Frauen und Männer feststellen (Bogaerts, Verschueren, Delecluse, Claessens & Boonen, 2007; Cheung et al., 2007; Kawanabe et al., 2007; Stolzenberg, Belavý, Rawer & Felsenberg, 2013).

In einer 6-monatigen Studie konnten jedoch keine additiven Effekte eines Vibrationstraining im Vergleich zur Kontrollgruppe verzeichnet werden, obwohl in der Vibrationsgruppe die Schwankungsgeschwindigkeit signifikant abgenommen hat (Bogaerts et al., 2011). Es zeigt sich zwar eine Verbesserung durch ein 9-monatiges Vibrationstraining, jedoch kein Unterschied zwischen einem Vibrationstraining und einem klassischen Gleichgewichtstraining (Stolzenberg et al., 2013). Das Stehen auf der Vibrationsplatte könnte für diese Probandengruppe eine Aufgabe darstellen, die einen Trainingseffekt bewirkt. Hierdurch kann es zu neuromuskulären Anpassungserscheinungen kommen, die eine weitere

Reduzierung der Gleichgewichtsfähigkeit verhindert (Bautmans et al., 2005; Bruyere et al., 2005). Eine Übersicht über diese Studien ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Studienübersicht zum Einfluss eines WBV auf die Gleichgewichtsfähigkeit

	Akut-Effekte	Langzeit-Effekte
Junge, gesunde Probanden	<p>Torvinen et al., 2002a</p> <p>4 Min, f = 15-30 Hz, a = 6,5-14 g</p> <p>+ nach 2 Minuten</p> <p>o nach 60 Minuten</p>	<p>Mahieu et al., 2006</p> <p>3 x pro Woche, f = 24 – 28 Hz,</p> <p>A = 2-6 mm</p> <p>o 6 Wochen</p>
	<p>Haas et al., 2004b</p> <p>5 Min, A = 3 mm</p> <p>+ mit 6 Hz</p> <p>o mit 10 Hz</p>	<p>Schlee & Milani, 2012</p> <p>f = 27 Hz, A = 2 mm</p> <p>o 6 Wochen</p>
	<p>Pollock et al., 2011</p> <p>5 Min, D = 3 mm</p> <p>o mit 30 Hz</p>	<p>Torvinen et al., 2002b</p> <p>3-5 x pro Woche, 2-4 Min, f = 25-40 Hz, a = 2,5-6,4 g, D = 2 mm</p> <p>o 4 Monate</p>
	<p>Schlee et al., 2012</p> <p>4 Min, A = 2 mm</p> <p>+ mit 27 Hz</p>	<p>Torvinen et al., 2003</p> <p>2-4 Min, f = 25-45 Hz, D = 2 mm</p> <p>o 8 Monate</p>
		<p>Chen et al., 2014</p> <p>4-6 Min, f = 18 bzw. 32 Hz, a = 4 g</p> <p>+ 8 Wochen</p>

Ältere Probanden	<p>Carlucci et al., 2010</p> <p>9,5 Min, $f = 35$ Hz</p> <ul style="list-style-type: none"> o direkt nach der Vibration o nach 15 Minuten o nach 60 Minuten 	<p>Bogaerts et al., 2007</p> <p>30-60 Min, $f = 35-40$ Hz, $A = 2,5$ mm oder 5 mm</p> <p>+ 1 Jahr</p>
		<p>Bogaerts et al., 2011</p> <p>3 x pro Woche, $f = 30-40$ Hz, $a = 1,6-2,2$ g</p> <p>+ 6 Monate</p> <p>o kein Unterschied zw. den Gruppen</p>
		<p>Bautmans et al., 2005</p> <p>$f = 30, 35$ oder 40 Hz, $A = 2$ oder 5 mm</p> <p>+ 6 Wochen</p>
		<p>Bruyere et al., 2005</p> <p>3 x pro Woche</p> <p>1 & 3 Min: $f = 10$ Hz, $D = 3$ mm</p> <p>2 & 4 Min: $f = 26$ Hz, $D = 7$ mm</p> <p>+ 6 Wochen</p>
		<p>Cheung et al., 2007</p> <p>3 x pro Woche, 3 Min, $f = 20$ Hz</p> <p>+ 3 Monate</p>
		<p>Kawanabe et al., 2007</p> <p>1 x pro Woche, 4 Min, $f = 12-20$ Hz</p> <p>+ 2 Monate</p>
		<p>Stolzenberg et al., 2013</p> <p>2 x pro Woche, 4 Min, $f = 22-24$ und 26 Hz</p> <p>+ 9 Monate</p>

Erkrankte oder verletzte Probanden	Haas et al., 2006b 5 Min, $f = 6 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$, $A = 3 \text{ mm}$ + Parkinson	
	Haas et al., 2004b 5 Min, $f = 6 \text{ u. } 10 \text{ Hz}$, $A = 3 \text{ mm}$ + Vordere Kreuzbandriss	
	Turbanski, 2006 5 Min, $f = 5\text{-}6 \text{ Hz}$ + Parkinson	

(+ Verbesserung, o keine Veränderung)

2.6. Aufmerksamkeit

Hinsichtlich der Auswirkungen eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsregulation wird auch die Verschiebung der selektiven Aufmerksamkeit diskutiert. Um diese Hypothese zu überprüfen, wird nun zuerst der Aufmerksamkeitsbegriff näher erläutert.

Eine einheitlich anerkannte Definition von Aufmerksamkeit liegt noch nicht vor. Viele Autoren trennen die Begriffe *Aufmerksamkeit* und *Konzentration* nicht und nennen die Tests zur Erfassung dieser beiden Konstrukte „*Allgemeine Leistungstests*“ (Schmidt-Atzert & Amelang, 2012, S. 186). Nach Schmidt-Atzert et al. (2004) kann man diese beiden Begriffe jedoch eindeutig voneinander trennen. Sie definieren die Aufmerksamkeit als „das selektive Beachten relevanter Reize oder Informationen“ (Schmidt-Atzert et al., 2004, S. 5) und demgegenüber die Konzentration als „die Fähigkeit, unter Bedingungen schnell und genau zu arbeiten, die das Erbringen einer kognitiven Leistung normalerweise erschweren“ (Schmidt-Atzert et al., 2004, S. 9). Danach geht es bei der Konzentration um die „(Weiter)-Verarbeitung“ (Schmidt-Atzert et al., 2004, S. 8) und bei der Aufmerksamkeit um die „Wahrnehmung“ (Schmidt-Atzert et al., 2004, S. 5).

Jedoch gibt es zwischen diesen Konstrukten auch einen Überschneidungsbereich (siehe Abbildung 6). Dann spricht man von „Konzentrierter Aufmerksamkeit“ (Schmidt-Atzert, Krumm & Bühner, 2008, S. 61). Hierunter verstehen die Autoren eine „Aufmerksamkeitsleistung unter erschwerten Bedingungen“ (Schmidt-Atzert et al., 2008, S. 61). Im Weiteren wird in dieser Arbeit der Begriff *Aufmerksamkeit* verwendet. Eine Trennung zwischen Konzentration und Aufmerksamkeit wird nicht vorgenommen.

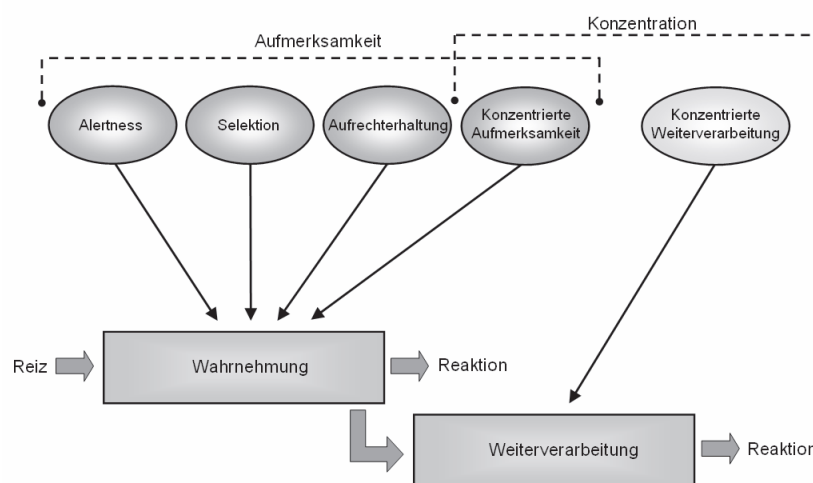


Abbildung 6: Strukturmodell der Aufmerksamkeit (nach Schmidt-Atzert et al., 2008, S. 69)

2.6.1. Effekte einer Ganzkörpervibration auf die Aufmerksamkeit

Arbeitsprozesse, in deren Zusammenhang die Arbeiter einer erhöhten Geräuschkulisse und Vibration ausgesetzt sind, veranlassten Wissenschaftler zu Studien, die einen Einfluss dieser Umwelteinflüsse auf die kognitiven Prozesse der Arbeiter untersuchten. Ljungberg, Neely & Lundström (2004) prüften, ob es einen unterschiedlichen Effekt auf die kognitive Leistung von 54 Probanden gibt, wenn sie den einzelnen Reizen (Lärm mit 21 Hz und Vibration in sitzender Position mit 16 Hz) separat oder in Kombination ausgesetzt sind. Die Intensität der Reize wurde durch eine Veränderung der Beschleunigung bzw. der Schall-Intensität in Dezibel gesteuert. Es fand eine randomisierte Zuteilung in drei unterschiedliche

Gruppen (gering, mittel und hoch) statt. Die Gruppe mit der geringsten Intensität erhielt eine Beschleunigung von 1 m/s^2 und 77 dB, die mittlere Gruppe $1,6 \text{ m/s}^2$ und 81 dB und die hohe Gruppe $2,5 \text{ m/s}^2$ und 86 dB. Eine Kontrollbedingung wurde bei Ruhe und ohne Vibration mitgetestet. Die kognitiven Prozesse (Kurzzeit-Erinnerung) erfassten die Autoren durch das Sternberg Paradigma während der Einwirkung der Reize, hierbei wird die Reaktionszeit als abhängige Variable erfasst.

Die Ergebnisse zeigen keine statistisch signifikanten Veränderungen im Sternberg Paradigma unter einem Vibrationseinfluss, Lärm oder der Kombination beider Einflüsse. Auch der Vergleich der unterschiedlichen Intensitäten zeigte keine signifikante Veränderung. Die persönliche Einschätzung der Schwierigkeit und Störung durch diese Reize zeigte jedoch eine Veränderung. Die Kombination beider Reize wurde als größte Störung empfunden und auch die Bewältigung der Aufgabe unter dieser Bedingung am schwierigsten.

Ein anderes Ergebnis konnten Sherwood & Griffin (1990) zeigen. Sie untersuchten 16 freiwillige Probanden unter dem Einfluss einer Ganzkörpervibration mit 16 Hz in sitzender Position. Sie beobachteten eine Verschlechterung der Kurzzeit-Erinnerung, die ebenfalls durch das Sternberg Paradigma erfasst wurde. Sie konnten keine Hinweise darauf finden, dass eine größere Beschleunigung der Vibration zu einem schlechteren Ergebnis bei der Kurzzeit-Erinnerungsaufgabe führt. Eine Beschleunigung von 1 m/s^2 r.m.s. führte zu einer signifikanten Verschlechterung, wohingegen größere Werte von $1,6$ und $2,5 \text{ m/s}^2$ r.m.s. zwar eine Verschlechterung zeigten, allerdings war diese nicht signifikant. Sherwood & Griffin (1990) vermuten, dass eine Vibration als ein Störeinfluss bei der Verarbeitung von Informationen im Kurzzeitgedächtnis angesehen werden kann. In einer weiteren Studie konnten sie einen negativen Effekt der Ganzkörpervibration auf die Lernkurve von 40 männlichen Probanden nachweisen. Die Probanden hatten die Aufgabe, 32 Namen von fiktiven Personen zu lernen. Deutlich zeigte sich in der Ganzkörpervibrationsgruppe mit 16 Hz ein geringerer Anstieg der Lernkurve, wobei die Vibration in sitzender Position auf den Körper mit einer Beschleunigung von 2 m/s^2 r.m.s. aufgebracht wurde. Die Behaltensleistung nach einer Woche wurde nicht von der Vibration beeinflusst

(Sherwood & Griffin, 1992). Ebenfalls konnte eine Verschlechterung der Leistung bei einer komplexen Zählaufgabe durch den Einfluss einer Vibrations- und Lärmeinwirkung bei 12 Air Force-Mitarbeitern nachgewiesen werden (Harris & Shoenberger, 1980). Die Probanden wurden an vier verschiedenen Messtagen für jeweils 30 Minuten einem Treatment in sitzender Position ausgesetzt. Währenddessen sollten sie eine Zählaufgabe bewältigen, die daraus bestand, das Aufleuchten von drei unterschiedlichen Lampen zu zählen. Die Zeitintervalle des Aufleuchtens waren für die einzelnen Lampen verschieden. Die Probanden sollten bei jedem 6. Aufleuchten der Lampe eine für die Lampe entsprechenden Knopf drücken. Bewertet wurden diesbezüglich die richtigen und falschen Antworten. Das Treatment bestand aus zwei Geräuschbedingungen (65 dB oder 100 dB) ohne Vibration, oder die gleichen zwei Geräuschbedingungen bei einer Vibrationseinwirkung mit einer veränderlichen Frequenz (2,6-16 Hz) und einem Beschleunigungslevel von $0,36 \text{ m/s}^2$ r.m.s.. Das kombinierte Treatment mit 100 dB und Vibration zeigte die wenigsten richtigen Antworten. Dies unterscheidet sich signifikant von der Bedingung 65 dB ohne Vibration. Das Treatment mit 65 dB und Vibration unterscheidet sich ebenfalls signifikant von der Bedingung ohne Vibration, zeigt jedoch ein besseres Ergebnis als die Vibrations- und Geräuschbedingung mit 100 dB. Hierbei wurde die Vibration und der Lärm während der Bearbeitung der Zählaufgabe angewendet (Harris & Shoenberger, 1980).

Diese Ergebnisse beziehen sich nur auf die kognitiven Leistungen bzw. Lernprozesse während der Vibration und/oder dem Lärm. Dies ist unter der Fragestellung von Arbeitsprozessen unter einer Geräuschkulisse und Vibration angebracht. Andererseits existieren auch Arbeitsprozesse, bei denen die Arbeiter nur für eine kurze Zeit einer Vibration und/oder Lärm ausgesetzt sind. Für so ein Berufsfeld ergibt sich die Frage, wie die Umweltreize sich auf den darauf folgenden Arbeitsprozess auswirken und diesen beeinflussen. In Bezug auf Vibration ist die Studienlage noch sehr dürftig (Kjellberg, 1990), der Einfluss von Lärm ist schon vermehrt untersucht worden (Ljungberg & Neely, 2007a). Auch für sportliche Ereignisse ist eine Betrachtung der Nacheffekte eines Vibrationsreizes

sinnvoll, da eine Vibrationseinwirkung während der sportlichen Aktivität schwierig bis gar nicht umsetzbar ist.

Ljungberg & Neely (2007a) untersuchen gerade diese Nachwirkung der Vibration und/oder Lärm auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Sie untersuchten 32 männliche Probanden unter einer Vibrations- und Lärmbedingung, wie sie in forstwirtschaftlichen Fahrzeugen vorkommen. Die Dauer des Reizes betrug ca. 44 Minuten und die Untersuchungen wurden an vier verschiedenen Tagen (Vibration, Lärm, Kombination beider Reize und Kontrolle) durchgeführt. Die Reihenfolge der Reize wurde randomisiert. Die Probanden mussten nach diesem Reiz eine Such- und Erinnerungsaufgabe bearbeiten. Diese Aufgabe bestand aus der Suche nach verschiedenen vorgegebenen Zielbuchstaben in Reihen von 59 Buchstaben. Die Fehler, die Geschwindigkeit (Anzahl der bearbeiteten Buchstaben) und die Genauigkeit (Prozent der Fehler) wurden als abhängige Variablen verwendet. Die Vibration wurde in sitzender Position auf einem Autositz appliziert und beinhaltete 6 Freiheitsgrade. Die Beschleunigung betrug $1,1 \text{ m/s}^2$ r.m.s. und die Frequenz in X-Richtung (Sagittalachse) 2 Hz, in Y-Richtung (Horizontalachse) 3,15 Hz und in Z-Richtung (Longitudinalachse) 4 Hz. Durch einen Fragebogen nach der Borgskala auf einer 10er Einteilung (0 = nichts bis 10 = extrem stark) wurde die subjektive Sensibilitätsempfindung der Reize erfasst.

Die Daten zeigten eine Leistungsverschlechterung der Probanden bei der Such- und Erinnerungsaufgabe nach der Einwirkung einer alleinigen Vibration und der kombinierten Darbietung beider Reize. Die Probanden arbeiteten nach der Vibration oder der Lärm/Vibrationsbedingung zwar schneller, jedoch ging dies auf Kosten der Genauigkeit. Die Probanden werteten nach ihrer subjektiven Empfindung ihre Aufmerksamkeit nach dem Vibrationsreiz höher ein als nach der Lärmbelastung. Dies steht im Kontrast zu den Ergebnissen in der Such- und Erinnerungsaufgabe. Die Diskrepanz zwischen der subjektiv empfundenen, verbesserten Aufmerksamkeit und einer Verschlechterung der Genauigkeitsleistung kann eine Gefahr in Arbeitsprozessen (Ljungberg & Neely, 2007a) und in der sportlichen Praxis darstellen.

Ein weiterer Parameter war das Cortisol Level. Cortisol ist ein Stresshormon und die Konzentration dieses Hormons stieg nach der Vibrationseinwirkung nicht an,

obwohl diese Situation als stressiger und schwieriger empfunden wurde (Ljungberg & Neely, 2007b).

Diese Untersuchungen der Arbeitswissenschaft zeigen Effekte auf die Aufmerksamkeit während (Harris & Shoenberger, 1980; Ljungberg et al., 2004; Sherwood & Griffin, 1990, 1992) und nach einer Vibrations- und Geräuschbelastung (Ljungberg & Neely, 2007a, 2007b). Für die sportliche Praxis wäre eine Betrachtung der Nacheffekte eines alleinigen Vibrationsreizes sinnvoll. Dieser Frage wurde in der aktuellen Forschungslage noch nicht nachgegangen.

3. Verwendetes Vibrationstreatment

In beiden empirischen Studien wurde das Qionic Classic Board als Vibrationstrainingsgerät verwendet. Die Angaben der Hersteller bezüglich der unterschiedlichen Parameter können fehlerbehaftet sein (siehe Kapitel 2.3), folglich wird das verwendete Vibrationsgerät evaluiert um eine korrekte Angabe der verwendeten Vibrationsparameter zu gewährleisten.

Die Ausführung des Vibrationstreatments gestaltete sich identisch, daher werden die zugrunde gelegten Vibrations- und Kontrollbedingungen näher erläutert und in der Vorstellung der einzelnen Studien wird auf dieses Kapitel verwiesen. Im letzten Abschnitt werden die Kontraindikatoren beschrieben, die eine Teilnahme an den Studien ausschlossen.

3.1. Qionic Classic Board

Die Vibrations- und Kontrollbedingung wurde bei beiden Studien auf dem Qionic Classic Board (neuer Herstellername: svg) durchgeführt (siehe Abbildung 7). Dieses Ganzkörpervibrationsgerät ist ein zugelassenes Gerät und wird in Fitnessstudios verwendet.



Abbildung 7: Qionic Classic Board (eigenes Bildmaterial)

Laut Herstellerangaben wird die Ganzkörperschwingung bei diesem Modell durch eine alternierende Wipp-Bewegung der Standplatte erzeugt. Dies entspricht der seitenalternierenden Bewegung, wie sie in Kapitel 2.1 beschrieben wurde. Hierbei ist die Standplatte jedoch flexibel auf Stahlfedern gelagert und verfügt über eine flexible Drehachse. Dadurch soll neben der Wipp-Bewegung eine weitere Bewegung zu Seite zugelassen werden, so dass eine Schwingung in Form einer liegenden Acht erzeugt wird. Diese Technologie bezeichnet Qionic als „Advanced Multipending Technology“ (Qionic GmbH, 2010, S. 6).

3.2. Evaluierung des Qionic Classic Board

In Anlehnung an die Standardisierungsvorschläge von Rauch et al. (2010) wurden die Herstellerangaben bezüglich der Vibrationsparameter überprüft. Ein kapazitiver Miniaturbeschleunigungsaufnehmer der Firma disynet (DA 2202-033, biachsig, Messbereich $\pm 33g$) wurde an der Fußposition 2 auf der Vibrationsplatte mit Hilfe von einem Klebeband fixiert. Eine visuelle Überprüfung am Oszilloskop ergab eine sinusförmige Schwingung. Durch eine Fast-Fourier Transformation des

Beschleunigungssignals wurde festgestellt, dass die Herstellerangaben bezüglich der Frequenzen korrekt sind.

Ebenfalls wurde der „Skidding“-Test nach Rauch et al. (2010) durchgeführt. Weder bei einer Frequenz von 5 Hz noch bei einer Frequenz von 25 Hz traten Rutscheffekte auf, die durch das Abheben des Körpers bei der Abwärtsbewegung entstehen könnten.

3.3. Vibrations- und Kontrollbedingungen

Die Vibrations- und Kontrollbedingung bestanden beide aus jeweils zwei Übungen für jeweils 1 Minute. In der ersten Minute standen die Probanden auf der Vibrationsplattform und führten dynamische Kniebeugen aus. Die Füße wurden so auf der Platte positioniert, dass sich jeweils der Digitus pedis II auf der Markierung für die Fußposition 2 befand. Bei dieser Markierung ist der Hub der Plattform 4 mm. Die dynamischen Kniebeugen wurden in einem Bewegungsumfang von 90° in der gebeugten Stellung bis zur Streckung in den Zehenstand ausgeführt. Bei der Durchführung dieser Übung sollten die Probanden sich nicht an der Rahmenkonstruktion der Vibrationsplatte festhalten.

Während der zweiten Minute saßen die Probanden auf der Vibrationsplattform. Die Füße befanden sich dabei auf dem Boden vor der Platte und die Beine waren leicht angewinkelt. Die Hände sollten dabei auf den Knien aufgelegt werden. Nach Griffin (1994) unterscheidet sich eine vertikale Vibration, die in sitzender Position auf den Körper aufgebracht wird, erst ab einer Vibrationsfrequenz von 3 Hz von der stehenden Position. Erst oberhalb dieser Frequenz können die Vibrationen in der stehenden Position durch die Knie gedämpft werden.

Bei der Vibrationsbedingung wurde am Ganzkörpervibrationsgerät eine Frequenz von 5 Hz bzw. 25 Hz eingestellt, bei der Kontrollbedingung war das Gerät ausgeschaltet. Die Frequenzen wurden in Anlehnung an die Arbeiten von Haas & Schmidbleicher (2002), Bosco et al. (2000) und Völkel & Hennig (2012) ausgewählt. Damit die Probanden die Einstellungen auf dem Bedienfeld nicht sehen konnten, war der Monitor so angebracht, dass die Probanden keine Sicht darauf hatten.

Die Beschleunigungen betrugen $a_{peak,5Hz} = 0,20g$ und $a_{peak,25 Hz} = 5,03g$ und wurde nach der in Kapitel 2.2 beschriebenen Formel $a_{peak} = 2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot D$ berechnet.

3.4. Kontraindikatoren

Um eine hohe Sicherheit für ein Training auf einer Vibrationsplattform zu gewährleisten, werden verschiedene Kontraindikatoren benannt. Falls einer der Kontraindikatoren vorliegt, wird von einem Training auf der Vibrationsplattform abgeraten. Für unsere Studien wurde folgende Liste von Kontraindikatoren nach verschiedenen Quellen zusammengestellt (Beutler, 2007, S. 105; Qionic GmbH, 2010, S. 11):

- Akute Erkrankungen / entzündliche Prozesse
- Herz- oder Hirnschrittmacher
- Hohes Thromboserisiko
- Schwangerschaft
- Höhergradige Osteoporose mit osteoporosebedingten Knochenbrüchen
- Schwere Diabetes mit fortgeschrittenen Mikroangiopathien, Gangränen, diabetischen Füßen, Netzhautproblematiken
- Stents oder Bypässe
- Unbehandelter Bluthochdruck
- Schwere Herzinsuffizienz
- Metall & Keramik Implantate (Platten mit Schraubfixierung)
- Künstliche Gelenke (besonders Hüft-, Knie- u. Sprunggelenk)
- Gallen- oder Nierensteine
- Kardiovaskuläre Erkrankungen

Neben diesen Kontraindikatoren werden in anderen Quellen weitere benannt, z.B. bei Klyscz (2000).

4. Studie 1: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Handkoordination

4.1. Zielsetzung

In Studien mit Parkinson-Patienten konnte eine Verbesserung der Handkoordination und eine deutliche Verringerung des Tremors nach einem Vibrationstreatment gezeigt werden (Haas & Schmidbleicher, 2002), wohingegen die Bewegungsausführung während der Applikation einer Vibration eine Verschlechterung zeigte (Costa et al., 2012, Verschueren et al., 1999a, 1999b).

Fraglich bleibt demnach, welchen Einfluss ein kurzfristiges Vibrationstreatment auf die Handkoordination bei gesunden Probanden ausübt. Zeigen sich hier ebenfalls die Verbesserungen durch ein Vibrationstreatment, wie sie in den Parkinsonstudien gezeigt werden konnten (Haas & Schmidbleicher, 2002), oder hält der Effekt der kinästhetischen Illusion auch nach der Vibrationseinwirkung an? Neben der reinen Erfassung der Handkoordination soll die Zuschaltung einer weiteren motorischen Aufgabe die Schwierigkeit erhöhen. In dieser Doppelaufgabe wird eine zusätzliche Gleichgewichtsaufgabe implementiert. Eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit konnte sowohl bei Parkinson-Patienten (Haas et al., 2006b), als auch bei einem gesunden Probandenkollektiv beobachtet werden (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a). Daher ist davon auszugehen, dass die Effekte bei Parkinson-Patienten nach einem Vibrationstreatment nicht allein durch die pathologischen Veränderungen zu erklären sind.

Zielsetzung dieser Studie ist daher:

Die Evaluation der Handkoordination von gesunden jungen Probanden nach einer Vibrationseinwirkung mit zwei unterschiedlichen Frequenzen.

Hieraus ergeben sich verschiedene Forschungsfragen.

- F₁:** Beeinflusst eine sinusförmige Ganzkörpervibration auf einem Qionic Classic Board die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe in sitzender Position?
- F₂:** Beeinflusst eine sinusförmige Ganzkörpervibration auf einem Qionic Classic Board die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe, wenn der Proband eine motorische Doppelaufgabe ausführt?
- F₃:** Unterscheiden sich die Effekte auf die Handkoordination in Abhängigkeit von der verwendeten Vibrationsfrequenz (5 und 25 Hz)?

Aus diesen Fragen lassen sich folgende Hypothesen ableiten.

- H_I:** Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation.
- H_{II}:** Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation.
- H_{III}:** Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe.
- H_{IV}:** Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe.
- H_V:** Die verwendeten Frequenzen unterscheiden sich in ihren Effekten auf die Handkoordination bei gesunden, jungen Probanden in beiden Messsituationen.

4.2. Methodik

4.2.1. Untersuchungsdesign

An dieser Querschnittsstudie im Cross-over Design nahmen 40 Probanden teil. Die Untersuchungen wurden in den Räumlichkeiten des Biomechaniklabors des Institutes für Sport- und Bewegungswissenschaften der Universität Duisburg-Essen durchgeführt und erstreckten sich über den Zeitraum von November 2010 bis Januar 2011. Für die Untersuchungen wurden pro Proband zwei Messtermine vereinbart. Diese beiden Termine unterschieden sich nur in der verwendeten Reihenfolge des Vibrationstreatments und gestalteten sich in ihrem sonstigen Ablauf jedoch völlig identisch. Die Probanden wurden am ersten Messtag einer von vier Gruppen randomisiert zugeteilt (siehe Tabelle 2). Durch die Gruppenzugehörigkeit war die Reihenfolge der zwei verschiedenen Vibrationstreatments und der zwei verschiedenen Messsituationen bestimmt. Mit Hilfe dieser Studie sollte überprüft werden, ob ein Vibrationstreatment mit einem Qionic Classic Board einen Einfluss auf die statische Handkontrolle hat und ob dieser von der Vibrationsfrequenz abhängt. Der Messaufbau wurde in Anlehnung an eine Studie von Pellegrini et al. (2004) gestaltet.

Die Aufgabenschwierigkeit während der Vibrationsbelastung setzt keine besonderen konditionellen oder motorischen Fähigkeiten voraus.

4.2.2. Probanden

Das Probandenkollektiv setzte sich aus 20 weiblichen Studentinnen und 20 männlichen Sportstudenten der Universität Duisburg-Essen zusammen. Im Folgenden wird der Begriff Proband gleichermaßen für die weiblichen Teilnehmerinnen und männlichen Teilnehmer verwendet. Alle Probanden waren sportlich aktiv und im Durchschnitt $24 \pm 3,42$ Jahre alt, $1,77 \pm 0,08$ m groß und $71,53 \pm 10,06$ kg schwer. Die Probanden wurden randomisiert in vier Versuchsgruppen eingeteilt. Diese vier Gruppen zeigten in ihrer Zusammensetzung keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der obigen Größen.

Für die Studie wurden ausschließlich rechtshändige Probanden rekrutiert die keine der unter Kapitel 3.4 genannten Ausschlusskriterien aufwiesen. Zudem erhielten die ausschließlich freiwillig teilnehmenden Probanden keine Aufwandsentschädigung und erklärten dazu schriftlich ihr Einverständnis. Allen Probanden wurde die Möglichkeit eingeräumt, die Teilnahme zu jeder Zeit zu widerrufen und ggf. Messungen abubrechen.

4.2.3. Beschreibung der verwendeten Messgeräte

4.2.3.1. Laser

Zur Erfassung der Handkoordination wurde ein handelsüblicher Laserpointer der Klasse 2 mit einer Wellenlänge von 532 nm (grün) verwendet. Der Laserpointer entsprach den Normen EN 60825-1:1994 + A2:2001+ A1:2002. Die Abmessungen seines Gehäuses betrugen in seinem Durchmesser 11,2 mm und in seiner Länge 152 mm. Seine Masse betrug 36,5 Gramm.

4.2.3.2. Kamera

Zur Aufzeichnung der Bewegung des Laserpointers wurde eine Digitalkamera der Marke Casio Modell Exilim EX-F1 verwendet. Diese Kamera ist in der Lage, Highspeed-Filmaufnahmen mit bis zu 1.200 Bildern pro Sekunde aufzunehmen (CASIO COMPUTER CO., LTD.). Bei vorangegangenen Pilotmessungen hatte sich gezeigt, dass eine Bildfrequenz von 300 Bildern pro Sekunde benötigt wird, um eine spätere Auswertung mit Hilfe der Auswertesoftware VIANA zu gewährleisten. Bei einer niedrigeren Bildfrequenz kam es zu einer Unschärfe in der Abbildung des Laserpunktes und damit zu einer ungenauen Ortserkennung durch VIANA.

4.2.3.3. Messkasten

Um die Bewegung des Laserpointers auf den Videoaufzeichnungen nachverfolgen zu können, wurde ein abgedunkelter Raum benötigt. Die Realisierung der

Verdunkelung erfolgte durch einen Messkasten aus Holz der Größe 1 m x 1 m x 1 m. Die Vorderseite dieses Kastens bildete eine mit weißer Folie beklebte Plexiglasscheibe. Durch diese Folie zeichnete sich der Strahl des Lasers auf der Innenseite der Scheibe ab. In der Mitte der Folie befand sich eine kreisförmige, grüne Markierung mit einem Durchmesser von 4 cm und in der rechten unteren Ecke eine 40 cm lange Kalibrationslinie. Diese wurde für die spätere Verarbeitung der Messvideos benötigt, um eine maßstabsgetreue Auswertung zu ermöglichen.

Auf der Rückseite des Holzkastens befand sich eine gefräste Öffnung mit einer darunter befindlichen Ablagefläche für die Kamera. Die Kamera war auf die Plexiglasscheibe ausgerichtet und konnte den Verlauf des Laserstrahls erfassen.

4.2.4. Messanordnung



Abbildung 8: Messaufbau (eigenes Bildmaterial)

Der Messaufbau setzte sich zusammen aus dem Messkasten, einem Tisch und einem Stuhl (Höhe 83 cm). Der Kasten wurde auf dem Tisch mit einer Höhe von 90 cm platziert. Hierdurch befand sich die grüne Zielmarkierung in einer Höhe von 140 cm gegenüber dem Boden.

Die Entfernung zwischen dem Messkasten und dem Stuhl betrug 10 Meter.

Die auf der Rückseite des Kastens angebrachte Kamera wurde über eine Kabelverbindung mit einem Computer verbunden, der die Videosequenzen speicherte.

Gemessen wurde in zwei unterschiedlichen Situationen: In sitzender Position auf dem Stuhl (siehe Abbildung 8) und in stehender Balanceposition auf einem Bein. Bei jeder Messung mussten die Probanden den Laserpointer in ihrer rechten Hand (dominante Hand) halten und aus 10 Meter Entfernung den Zielpunkt auf der Scheibe anvisieren. Während der Zielaufgabe sollte der rechte Arm mit dem Laserpointer in der Hand neben dem Körper in einem Winkel von 90 Grad angewinkelt werden. Der Arm durfte dabei nicht am Oberkörper angelehnt werden, um eine zusätzliche Stabilität zu vermeiden.

Beim Einbeinstand durften die Probanden ihr Standbein frei wählen. Sie mussten die Standbeinwahl für alle Messungen beibehalten, auch für die des zweiten Messstages. Wenn die Probanden ihr rechtes Bein als Standbein ausgewählt hatten, sollten sie sich mit diesem auf die Markierung am Boden stellen. Dabei entspricht diese Markierung der Entfernungsorientierung für die sitzende Position. Falls sie ihr linkes Bein als Standbein nutzen wollten, wurde darauf geachtet, dass die Verbindungslinie zwischen Laserpointer und Ziel wieder einen Winkel von 90° bildete. Die Probanden trugen während der Messungen keine Schuhe.

4.2.5. Vibrationstreatment

Der Ablauf des Vibrationstreatments ist in Kapitel 3.1. beschrieben. Die Übungen auf der Vibrationsplatte wurden in dieser Studie ohne Schuhe durchgeführt, um einen dämpfenden Einfluss durch die Schuhe zu vermeiden (Erskine et al., 2007; Kerschman-Schindl et al., 2001). Es wurden in dieser Studie zwei verschiedene Vibrationsfrequenzen verwendet. Diese betrugen 5 Hz und 25 Hz.

4.2.6. Testprotokoll

Am ersten Messtag wurden die Probanden per Losverfahren einer Messreihenfolge zugeteilt. Dabei wurde die Reihenfolge der Messpositionen (sitzend bzw. Einbeinstand) und die der Vibrationsfrequenzen (5 Hz bzw. 25 Hz) festgelegt. Diese Reihenfolge der Messpositionen wurde auch für den zweiten

Messtag beibehalten, jedoch wurde die Reihenfolge der Frequenzen vertauscht (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Ablauf der Messungen

Gruppe 1	Aufwärmung	Prä-Messung	5 Hz	Inter-Messung	25 Hz	Post-Messung
Gruppe 2			25 Hz		5 Hz	

Zu Beginn der ersten Messung hatten die Probanden zwei Minuten Zeit, sich mit der Messsituation und der Aufgabe vertraut zu machen. Die kardiovaskulären Effekte eines Ganzkörpervibrationstrainings sind nur sehr gering. Der Herzschlag und der systolische und diastolische Blutdruck verändern sich unter der Belastung einer Übung mit und ohne Ganzkörpervibration (26 Hz, 3 mm bzw. 15 Hz, 5 mm) gleichwertig (Kerschan-Schindl et al., 2001; Yamada et al., 2005). Jedoch nimmt das relative Blutvolumen im M. quadriceps und M. gastrocnemius unter einer Vibrationsbedingung zu (Kerschan-Schindl et al., 2001). Daher erfolgte eine 5 minütige Aufwärmung auf einem Fahrradergometer (Bosco et al., 2000; Bosco et al., 1999; Marín, Bunker, Rhea & Ayllón, 2009) bei einer submaximalen Belastung. Im Anschluss absolvierten die Probanden die Prä-Messung. Jede einzelne Messung dauerte 20 Sekunden, wobei für die spätere Auswertung nur 15 Sekunden verwendet wurden.

Um die Videosequenzen eindeutig einem Probanden und einer Messsituation (Frequenz und Messposition) zuordnen zu können, wurde bei jedem Messdurchgang ein Zettel mit dem Probandencode, dem Durchgang, der Messsituation und der Frequenz des direkt vorgeschalteten Treatments an der unteren linken Ecke des Messschirms befestigt. Vor Beginn jeder Messung erfolgte die Aktivierung der Kamera. Ein Scheinwerfer wurde vor der Messvorrichtung für einen kurzen Moment eingeschaltet, um die Informationen auf dem Zettel im Videobild sichtbar zu machen. Diese kurze Sequenz diente außerdem der Kalibrierung des Videobildes. Nach Abschalten des Lichts begann die eigentliche Messung. Die Probanden sollten auch schon bei eingeschaltetem Licht das Ziel anvisieren.

Die komplette Prä-Messung umfasste 6 Videoaufzeichnungen. Nach 3 Videoaufnahmen wurde die Standposition geändert. Wenn die Probanden z.B. in der sitzenden Position begonnen hatten, wurde nun zum Einbeinstand gewechselt. Nach der Prä-Messung erfolgte das erste Treatment. Die Vibrationsfrequenz konnte je nach Randomisierung 5 Hz oder 25 Hz betragen. Nach dem Vibrationstreatment erfolgte die zweite Messreihe (Inter-Messung). Auch hier wurden insgesamt 6 Videosequenzen aufgezeichnet. Daran schloss sich das zweite Treatment mit der vorher nicht verwendeten Frequenz an. Zum Abschluss erfolgte die letzte Messserie mit 6 Videoaufzeichnungen. Insgesamt wurden mit jedem Probanden 18 Aufnahmen an einem Messtag aufgezeichnet. Zwischen den einzelnen Phasen des Messtages erfolgten keine Pausen, so wurde z.B. direkt nach dem Vibrationstreatment mit der Messung der Handkoordination begonnen.

Tabelle 3: Messreihenfolge

Tag1	
Aufwärmung	5 Minuten auf dem Fahrradergometer
Prä-Messung	6 Messungen: 3 in sitzender und 3 in stehender Position Reihenfolge randomisiert über die Probanden
Treatment 1	Vibration mit 5Hz oder 25 Hz; Reihenfolge randomisiert über die Probanden 1 Minute in stehender Position 1 Minute in sitzender Position
Inter-Messung	Siehe Prä-Messung
Treatment 2	Vibration mit der vorher nicht verwendeten Frequenz 1 Minute in stehender Position 1 Minute in sitzender Position
Post-Messung	Siehe Prä-Messung

Am zweiten Tag erfolgte die Messung mit einer vertauschten Reihenfolge des Vibrationstreatments. Die Reihenfolge der Messsituation wurde beibehalten. Zwischen den beiden Messtagen sollten in Anlehnung an Harris & Shoenberger (1980) mindestens 2 Tage liegen, da die Effektdauer eines Vibrationstreatments bis zu 48 Stunden anhalten kann (Haas & Schmidtbleicher, 2002). Dies dient zur Vermeidung von möglichen Interaktionseffekten der verschiedenen Frequenzen. Die Probanden trugen während der Messung einen Kapselgehörschutz (DIN 4844-2), um einen Einfluss von störenden Hintergrundgeräuschen auszuschließen und sich auf die gestellte Aufgabe zu konzentrieren.

4.2.7. Datenerfassung und –verarbeitung

Pro Proband ergaben sich für beide Messtage insgesamt 36 Videosequenzen, von denen jeweils 15 Sekunden ausgewertet wurden. Für die Auswertung der Videoaufzeichnungen mit dem Videoanalyse-Programm VIANA war eine Umformatierung der Aufzeichnungen notwendig. VIANA wurde 1997 an der Universität Duisburg-Essen entwickelt und ist über die Homepage der Universität unter folgendem Link <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/viana/> frei zugänglich. Das Programm wurde bis 2004 immer weiter überarbeitet. Es ist ein Programm zur Positionserkennung von gefilmten Objekten und kann eine Auswertung in zwei Dimensionen vornehmen. Dabei nimmt das Programm eine Abtastung der einzelnen Videobilder nach einem bestimmten, vorher festgelegten RGB-Farbton vor (Kersting, 2004). Für die aufgenommenen Videosequenzen wurde folgende Einstellung verwendet: Rot = 43, Grün = 194, Blau = 43 und ein Toleranzwert von 80. Das Programm tastete nun jedes einzelne Bild nach dem entsprechenden Farbton ab und erfasste seine Position in kartesischen Koordinaten (Stützstellen). In der beleuchteten Videosequenz wurden der Nullpunkt (Ziel) und die Längenverhältnisse über die Kalibrationslinie mit einer Länge von 0,4 m manuell festgelegt. Für jedes Video erfolgte eine neue Kalibrierung. Die Analyse der Videosequenzen erfolgte bis auf wenige Ausnahmen von Bild 500 bis Bild 5000 und die gewonnenen x-y – Koordinaten wurden zur weiteren Verarbeitung nach Excel exportiert.

Mit Hilfe eines Excel-Makros erfolgte die Berechnung des absoluten Abstands zum Nullpunkt (AvN) und der insgesamt zurückgelegten Strecke (ZS) in dem ausgewählten Zeitraum von 15 Sekunden. Die Berechnung des AvN und der ZS erfolgte mit jeder 10 Stützstelle. Für den AvN wurde bei jeder 10ten Stützstelle der Abstand vom Nullpunkt berechnet und die einzelnen, so errechneten Distanzen aufsummiert. Für den Parameter ZS wurde die Distanz von einer Stützstelle zur nächsten berechnet und diese aufsummiert.

Für die weitere Auswertung wurden die Mittelwerte der drei Messungen pro Situation verwendet.

4.2.8. Datenanalyse

Die Auswertung der Daten erfolgte im Statistikprogramm StatView SE + Graphics (Abacus Concepts, 1988). Es wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Zum paarweisen Vergleich wurden anschließend post-hoc t-Tests verwendet. Das statistische Signifikanzniveau wurde auf eine Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5% ($p < 0,05$), für eine statistisch hohe Signifikanz unter 1% ($p < 0,01$) und für eine statistisch höchste Signifikanz unter 0,1% ($p < 0,001$) gesetzt. In den Abbildungen wurden diese durch *, ** und *** kenntlich gemacht.

4.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse beziehen sich auf das gesamte Probandenkollektiv der 40 Probanden. Kein Proband hat die Studie vorzeitig abgebrochen. Es wird eine Aufteilung zwischen den zwei unterschiedlichen Messsituationen vorgenommen. Zuerst erfolgt die Darstellung der Ergebnisse in sitzender Position, aufgeteilt nach den zwei unterschiedlichen Parametern „Zurückgelegte Strecke“ (ZS) und „Absoluter Abweichung vom Nullpunkt“ (AvN). Danach erfolgt die Darstellung der Ergebnisse im Einbeinstand. Die Diagramme stellen jeweils den Mittelwert mit der dazugehörigen Standardabweichung dar. Auf der x-Achse sind die verschiedenen Messzeitpunkte aufgetragen und auf der y-Achse ZS oder AvN. Hierbei gibt der

Parameter ZS an, wie ruhig der Proband den Laserpointer halten konnte und AvN erfasst, wie präzise das Ziel anvisiert wurde. Durch die Auswertung der Handkoordination über zwei verschiedene Parameter ergibt sich eine weitere Aufteilung der Hypothese.

4.3.1. Messsituation „Sitzende Position“

Die weiteren Ergebnisse beziehen sich auf die Messung in sitzende Position. Durch die Erfassung der Handkoordination mit Hilfe von zwei Parametern ergibt sich eine weitere Aufteilung der Hypothesen.

H_{Ia}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation im Parameter ZS.

H_{Ib}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation im Parameter AvN.

H_{IIa}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation im Parameter ZS.

H_{IIb}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation im Parameter AvN.

4.3.1.1. Aufsummierte zurückgelegte Strecke in m (ZS)

Für beide Messtage und der damit verbundenen unterschiedlichen Reihenfolge der Treatmentbedingungen konnte eine stetige Verbesserung von der Prä- zur Inter- und Post-Messung in der sitzenden Messsituation beobachtet werden. Für die Treatmentabfolge 5 Hz – 25 Hz sind die Veränderungen zwischen den drei Messzeitpunkten jeweils statistisch höchst signifikant (siehe Abbildung 9).

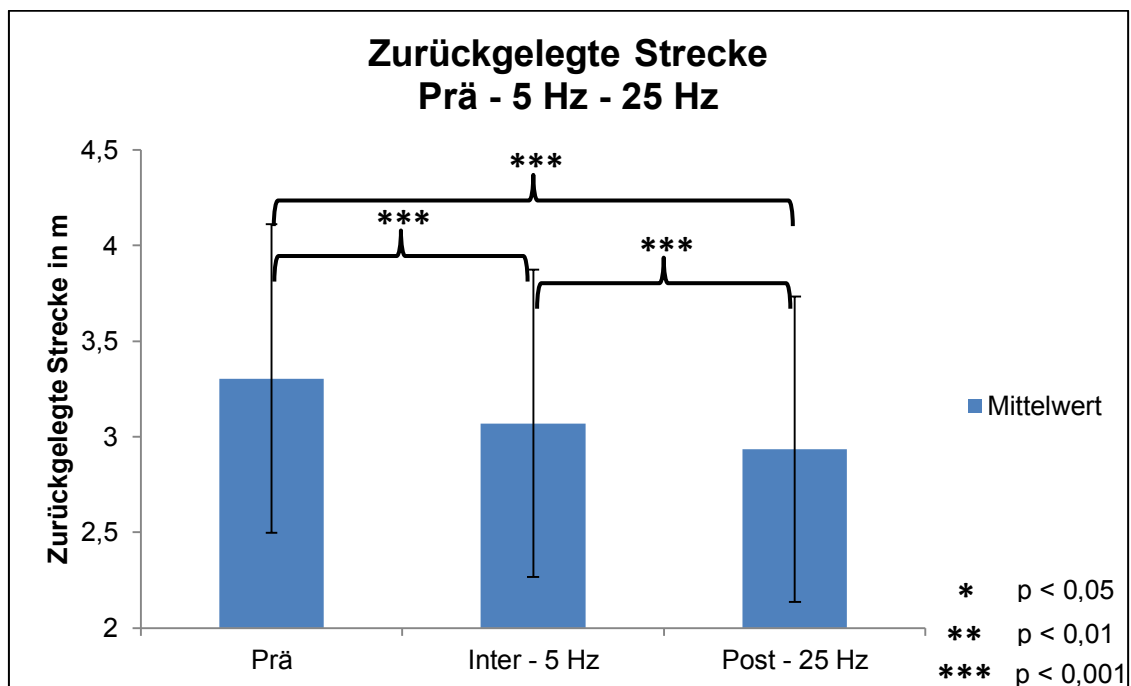


Abbildung 9: ZS in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz

Für die Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz zeigt sich zwischen der Prä- und Inter- 25 Hz, sowie zwischen der Prä- und Post- 5 Hz Messung eine signifikante Verbesserung (siehe Abbildung 10). Kein Unterschied zeigt sich zwischen den beiden Treatments mit einem p-Wert von 0,272.

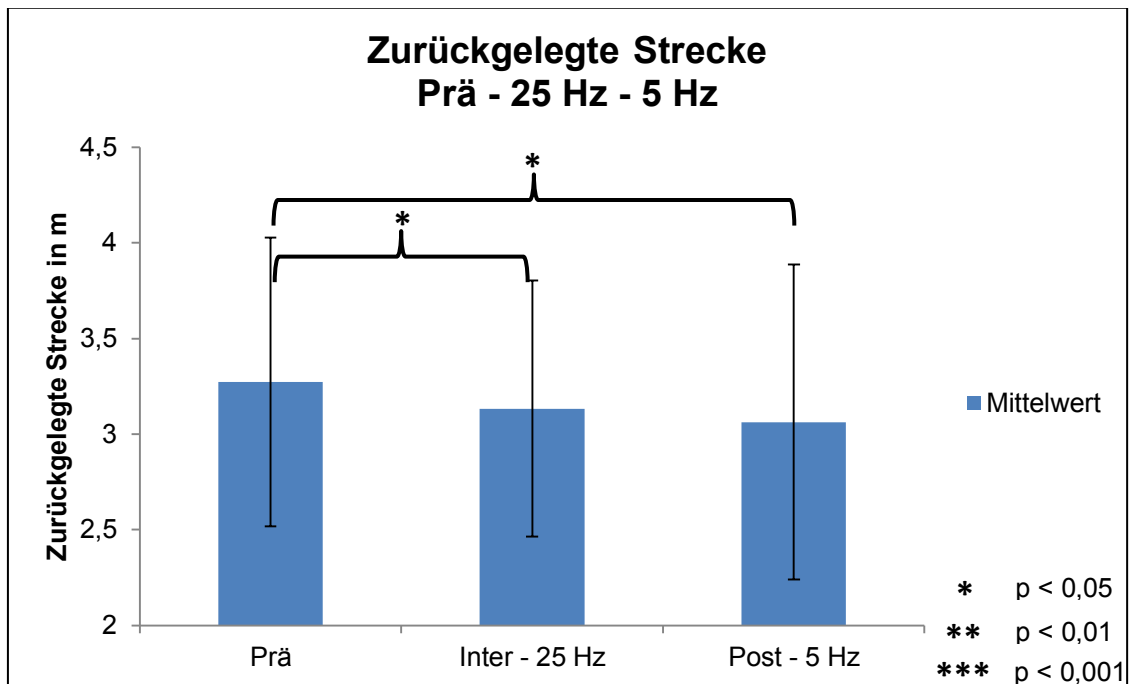


Abbildung 10: ZS in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz

4.3.1.2. Aufsummierter absoluter Abstand vom Nullpunkt (AvN)

Für den aufsummierten Parameter „Absoluter Abstand vom Nullpunkt“ (AvN) zeigte sich für die Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz eine stetige Verbesserung im Verlauf über alle drei Messzeitpunkte.

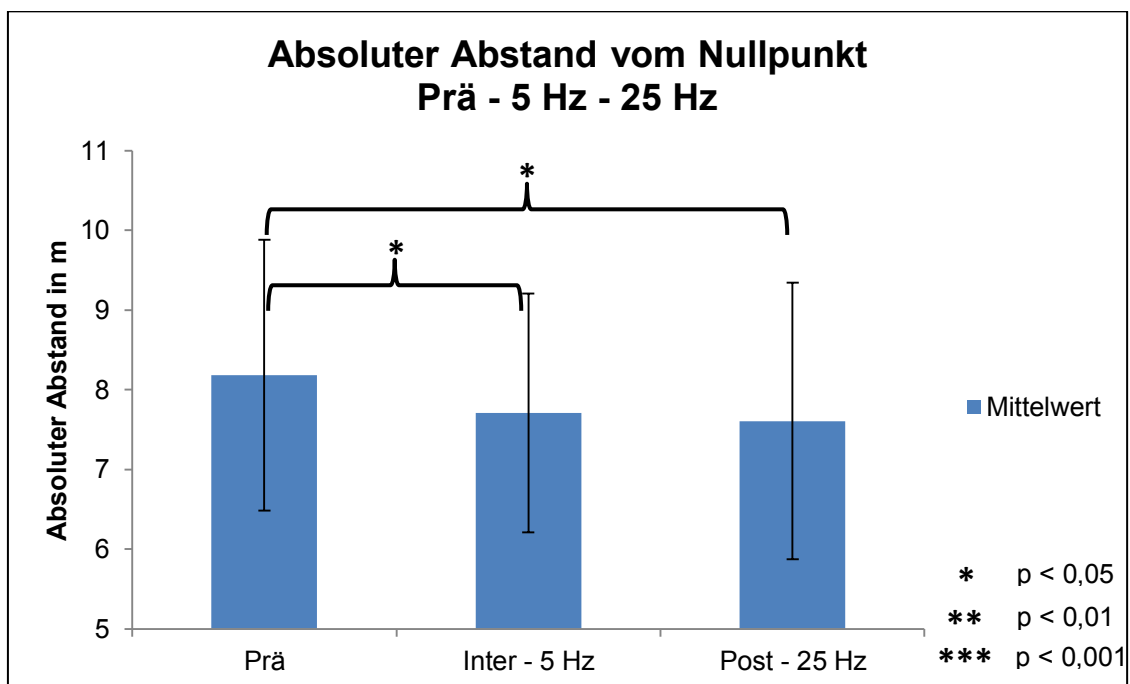


Abbildung 11: AvN in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 5Hz – 25 Hz

Diese Verbesserungen sind zwischen der Prä- und Inter- 5 Hz sowie zwischen der Prä- und Post- 25 Hz statistisch signifikant. Kein statistisch signifikanter Unterschied zeigte sich für die Veränderung zwischen den beiden Treatmentbedingungen mit $p = 0,480$ (siehe Abbildung 11).

Für die Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede. Der aufsummierte, absolute Abstand zum Nullpunkt variierte im Bereich von 7,94 m bis 8,05 m, wobei der höchste Wert nach dem Treatment mit 25 Hz erfasst wurde (siehe Abbildung 12). Die p-Werte zeigen keinen Trend zu einer Signifikanz (siehe Anhang).

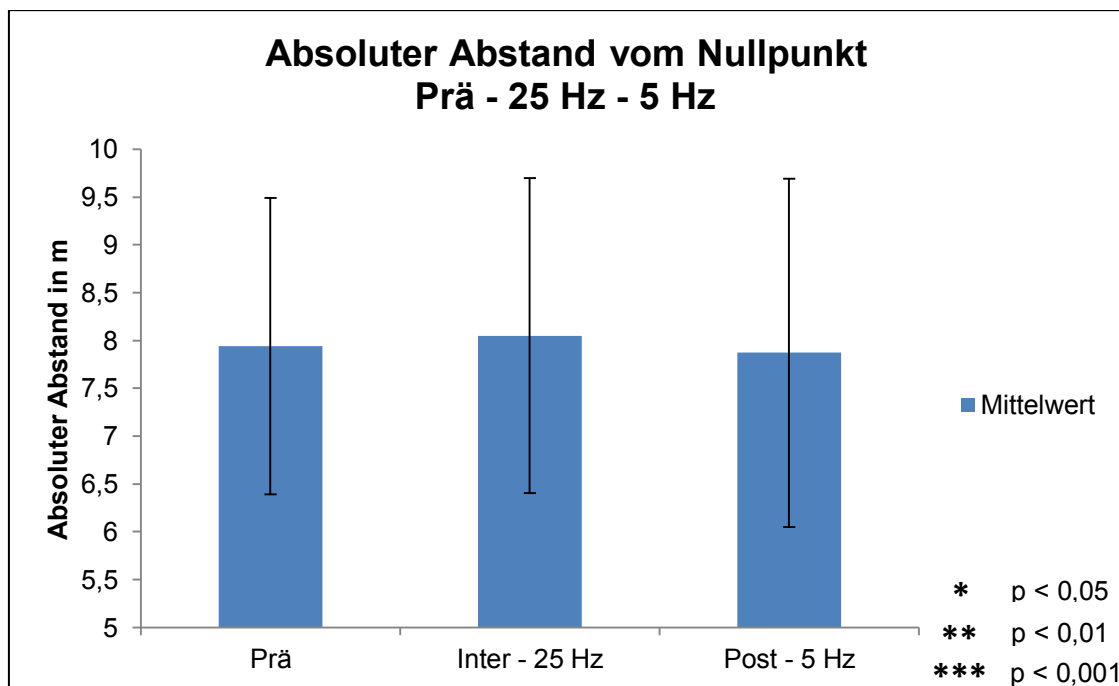


Abbildung 12: AvN in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz

4.3.2. Messsituation „Einbeinstand“

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Messung der Handkoordination während die Probanden einen Einbeinstand ausführten. Bedingt durch die Erfassung der Handkoordination mit Hilfe von zwei Parametern ergibt sich auch hier eine weitere Aufteilung der Hypothesen.

H_{IIIa}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe im Parameter ZS.

H_{IIIb}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe im Parameter AvN.

H_{IVa}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe im Parameter ZS.

H_{IVb}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe im Parameter AvN.

4.3.2.1. Aufsummierte zurückgelegte Strecke (ZS)

Für den aufsummierten Parameter ZS kann für die Messsituation des Einbeinstands, wie auch bei der sitzenden Position, eine stetige Verbesserung festgestellt werden. Die Unterschiede zwischen der Inter- 5 Hz und Post- 25 Hz sind nur minimal (0,03 m) und zeigen keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p = 0,791$). Die Veränderungen zwischen den Prä- und Inter- 5 Hz sowie zwischen den Prä- und Post- 25 Hz Messungen zeigen, wie auch bei der Messstation in sitzender Position, statistisch hoch bzw. höchst signifikante Unterschiede (siehe Abbildung 13).

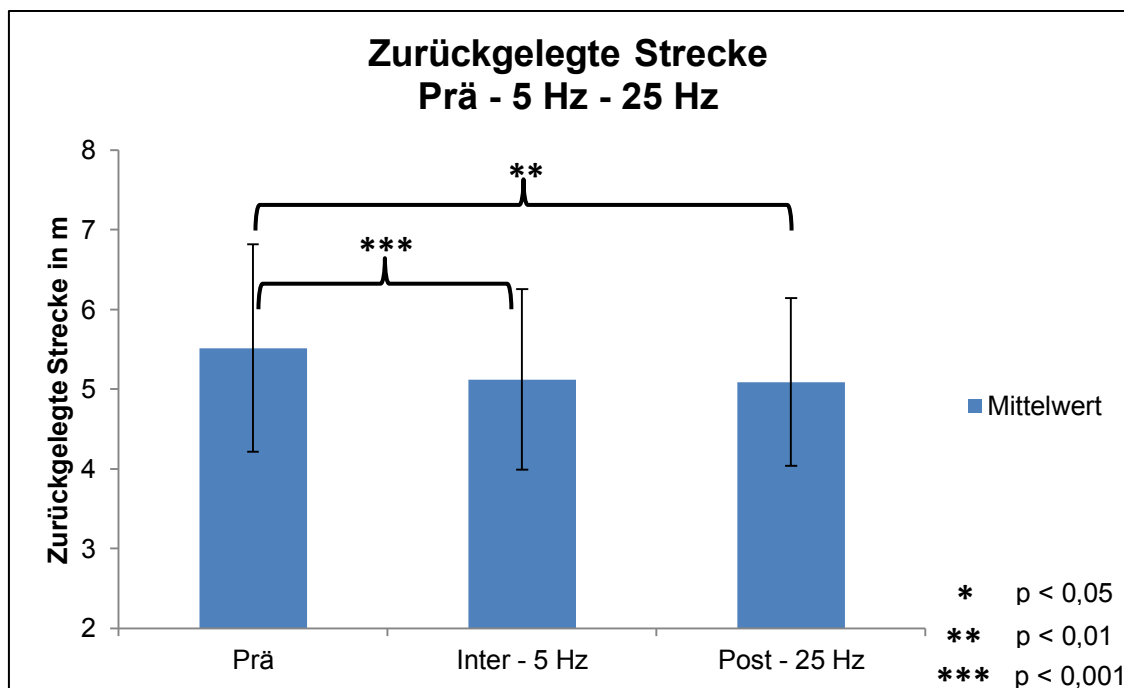


Abbildung 13: ZS im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz

In der veränderten Treatmentreihenfolge zeigt sich zwischen allen Messzeitpunkten eine statistisch signifikante Veränderung. Statistisch höchst signifikante Verbesserungen zeigen sich einerseits zwischen der Prä- und Inter- 25 Hz, und außerdem zwischen der Prä- und Post- 5 Hz Bedingung. Die Änderungen zwischen der Inter- 25 Hz und 5 Hz Bedingung ist nur auf einem $p < 0,01$ Niveau statistisch signifikant (siehe Abbildung 14).

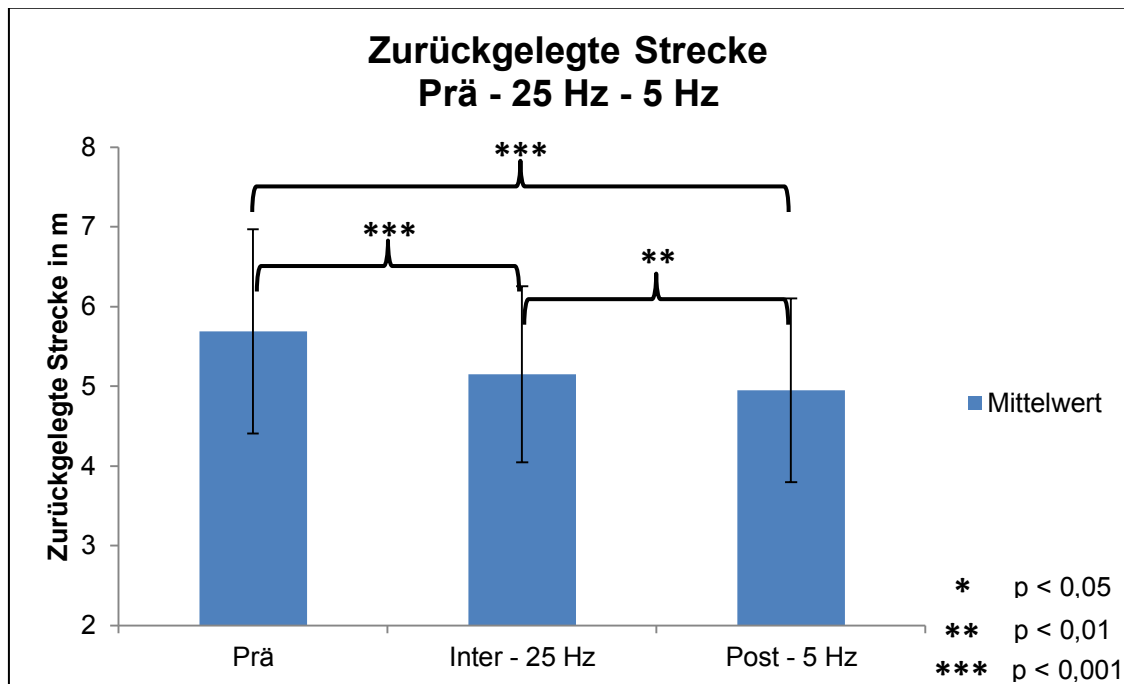


Abbildung 14: ZS im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz

4.3.2.2. Aufsummierte absoluter Abstand vom Nullpunkt (AvN)

Für den aufsummierten Parameter AvN zeigt sich nur zwischen der Prä- und Inter- 5 Hz eine statistisch hoch signifikante Verbesserung. Alle weiteren Veränderungen zeigen keine Signifikanzen. Nach dem Treatment mit 25 Hz kommt es zu einer Verschlechterung von 0,14 m im Vergleich zur Inter- 5 Hz Messung. Diese Verschlechterung ist mit einem p-Wert von 0,721 statistisch nicht signifikant (siehe Abbildung 15).

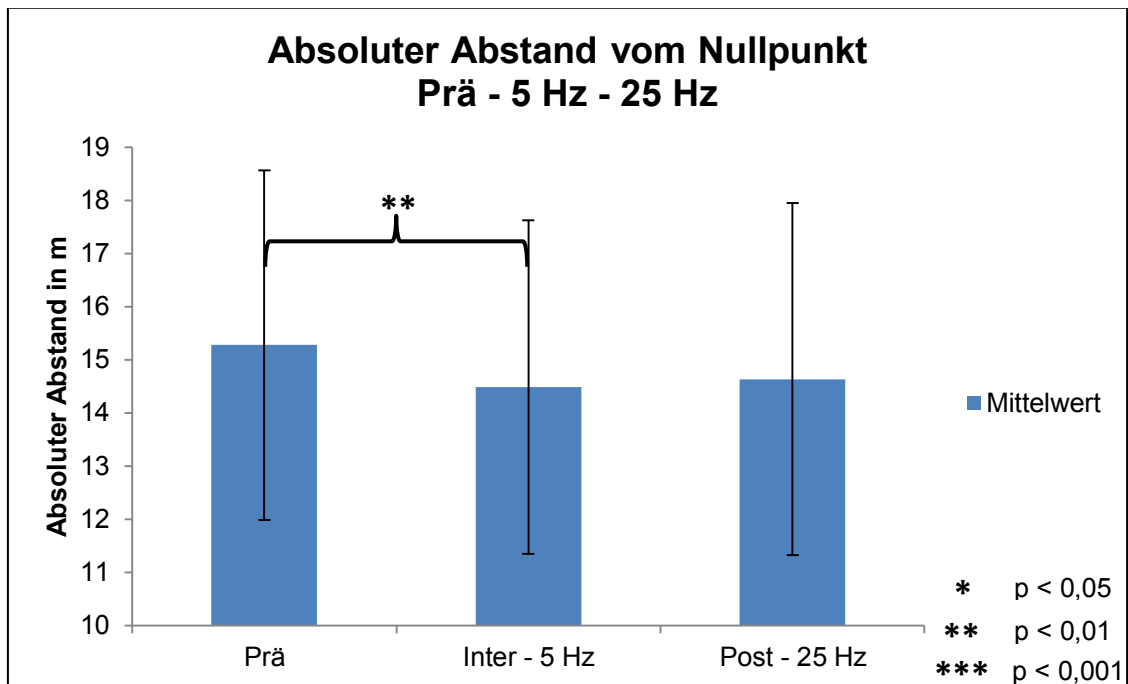


Abbildung 15: AvN im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz

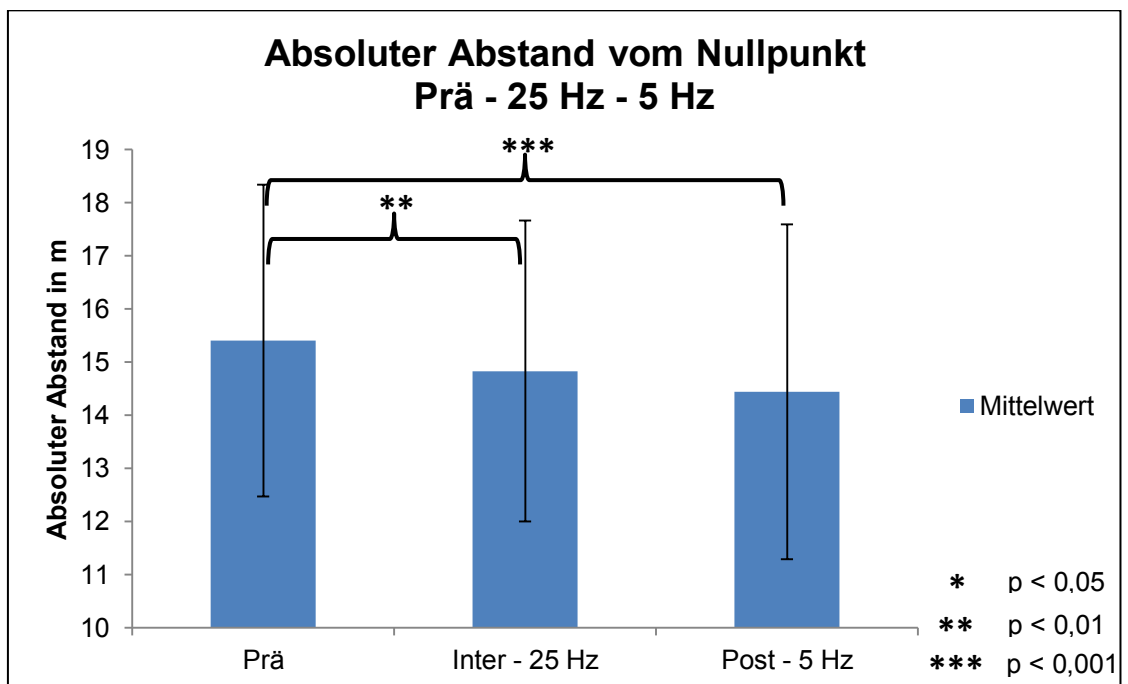


Abbildung 16: AvN im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz

In der veränderten Treatmentreihenfolge zeigt sich zwischen der Inter- 25 Hz und Post- 5 Hz kein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0,120$). Zwischen der Prä- und Inter- 25 Hz ist ein statistisch hoch signifikanter Unterschied zu beobachten. Ein statistisch höchst signifikanter Unterschied kann zwischen der Prä- und Post-

5 Hz Bedingung festgestellt werden. Der gemessene Abstand nahm dabei über die einzelnen Messzeitpunkte stetig ab (siehe Abbildung 16).

4.3.3. Lerneffekte

Zu Beginn der Messung hatten die Probanden Zeit, sich mit der Messsituation und dem Umgang mit dem Laserpointer vertraut zu machen. Das Probandenkollektiv (Sportstudentinnen und –studenten) kann als motorisch erfahren angesehen werden, sodass die Zielaufgabe keine motorisch schwierige Aufgabe darstellte. Die Messposition (angewinkelter Arm usw.) ist allerdings eine ungewohnte Körperposition. Um einen möglichen Lerneffekt und eine damit einhergehende Beeinflussung der Ergebnisse zu überprüfen, wurden die jeweils ersten drei Messungen am ersten Messtag in der Prä-Bedingung untersucht. Bedingt durch die unterschiedliche Reihenfolge der Messbedingung erfolgt die Auswertung jeweils nur für 20 Probanden. Hierbei konnten weder für die sitzende Messsituation noch für den Einbeinstand statistisch signifikante Unterschiede zwischen den ersten drei Messungen festgestellt werden (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18).

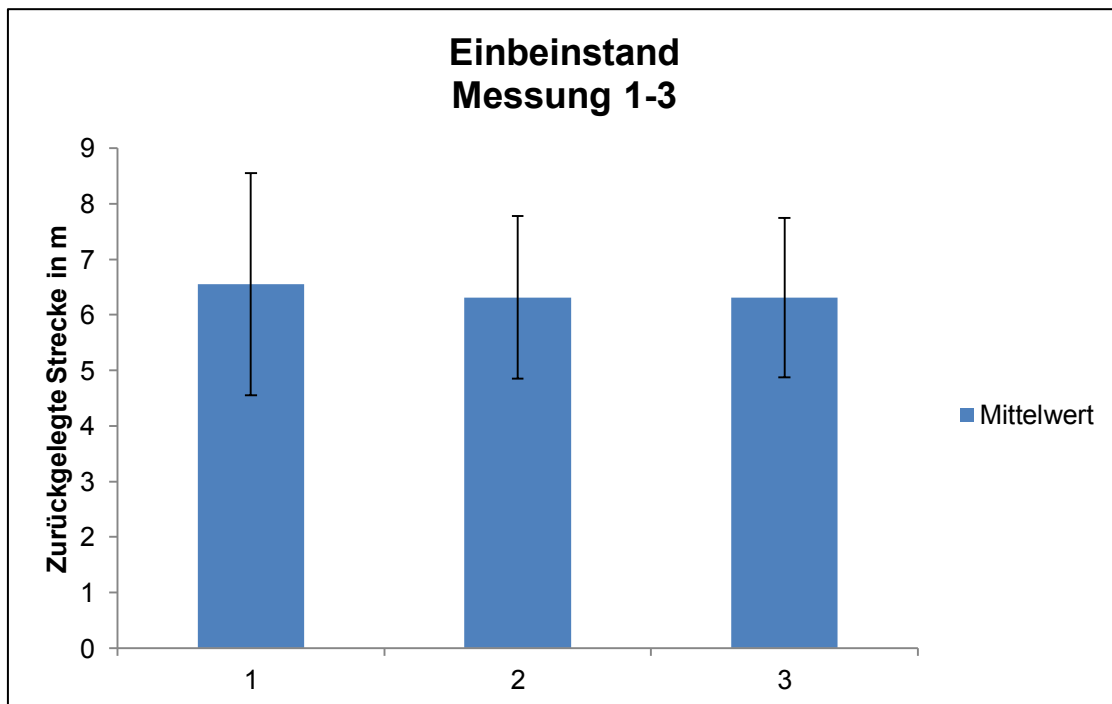


Abbildung 17: Lerneffekt ZS im Einbeinstand

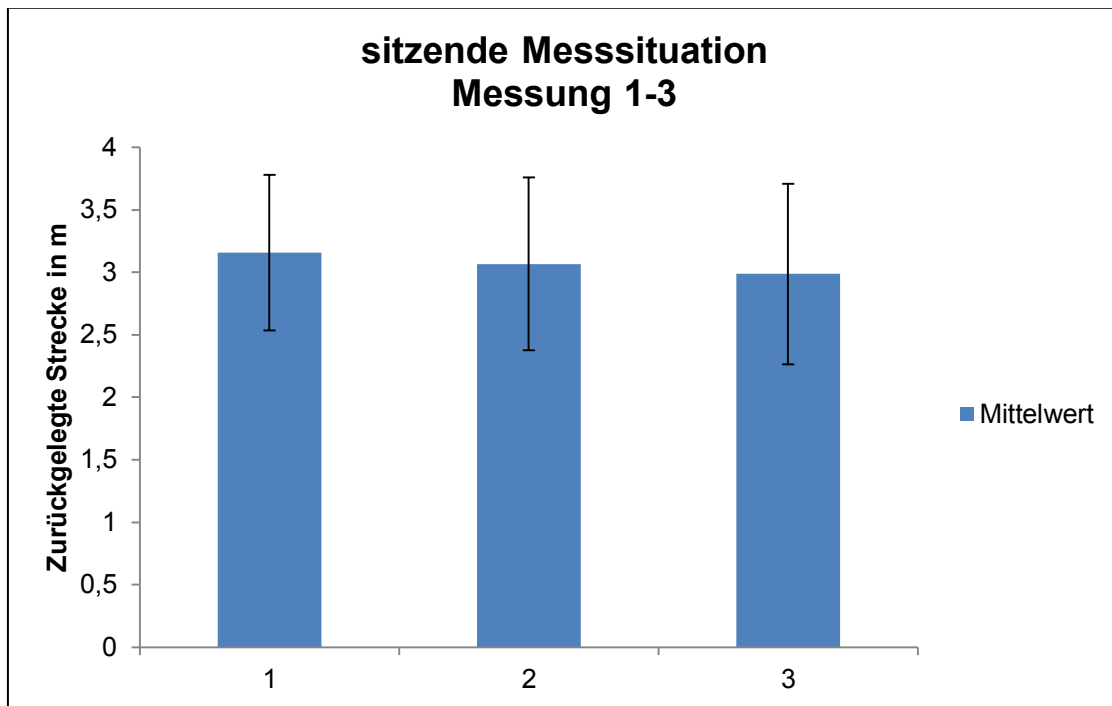


Abbildung 18: Lerneffekt ZS in sitzender Position

Um einen möglichen Lerneffekt zwischen den zwei Messtagen zu überprüfen, wurde ein Vergleich zwischen den beiden Prä-Bedingungen vorgenommen.

Tabelle 4: Lerneffekt zwischen den beiden Prä-Bedingungen

	Messposition Sitzen		Messposition Einbeinstand	
	Prä 5 Hz – 25 Hz	Prä 25 Hz – 5 Hz	Prä 5 Hz – 25 Hz	Prä 25 Hz – 5 Hz
Zurückgelegte Strecke	3,3 ± 0,81	3,27 ± 0,76	5,52 ± 1,3	5,69 ± 1,28
p-Wert	0,81		0,39	
Absolute Abstand	8,18 ± 1,7	7,94 ± 1,55	15,28 ± 3,29	15,4 ± 2,93
p-Wert	0,33		0,77	

Hier zeigen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede, weder für die unterschiedlichen Messsituationen noch für die zwei unterschiedlichen Auswerteparameter (ZS und AvN) (siehe Tabelle 4).

4.4. Diskussion der Ergebnisse der Handkoordination

Die Ergebnisse aus der Messung der Handkoordination im Vergleich Prä- zu Inter-5 Hz gehen konform mit den Ergebnissen von Haas & Schmidtbleicher (2002) und zeigen in beiden Messsituationen signifikante bis höchst signifikante Verbesserungen. Die Messung in sitzender Position repräsentiert handkoordinative Fähigkeiten, wie sie auch von Haas & Schmidtbleicher (2002) erfasst wurden. In der Messsituation Einbeinstand wird die Gleichgewichtsfähigkeit als eine weitere Komponente berücksichtigt.

Im Gegensatz zur Messanordnung von Haas & Schmidtbleicher (2002), in der eine phänographische Analyse der Schriftprobe durchgeführt wurde, ist die in dieser Studie vorgenommene Erfassung der Handkoordination mit Hilfe eines Laserpointers und der Berechnung der zurückgelegten Strecke (ZS) bzw. dem absoluten Abstand zum Nullpunkt (AvN) quantifizierbar.

4.4.1. Diskussion der Messsituation „Sitzende Position“

Prä-Inter Vergleich

In der sitzenden Position zeigen sich nach dem Treatment mit 5 Hz in der Inter-Messung statistisch signifikante Verbesserungen für die Parameter ZS und AvN.

Diese positiven Effekte nach einem 5 Hz Treatment können durch biochemische oder cerebrale Effekte auf den menschlichen Körper erklärt werden. Rein physiologische Effekte auf sensorischer und periphernervaler Ebene sind durch die Lokalisierung in den oberen Extremitäten eher auszuschließen (Haas & Schmidtbleicher, 2002; Haas et al., 2006b). Für die Interpretation der Ergebnisse in der Messsituation Einbeinstand sind periphere Steuerungsmechanismen jedoch wieder zu berücksichtigen. Auch eine kinästhetische Illusion und die damit einhergehende Verschiebung in der Handkoordination (Verschueren et al., 1999a,

1999b) kann aufgrund der Datenlage ausgeschlossen werden, da die verwendete Frequenz und die Art der Vibrationseinwirkung sich grundlegend unterschieden (siehe Kapitel 2.4.2).

Eine Veränderung im endokrinen System nach einer Vibrationseinwirkung konnte in verschiedenen Tier- und Humanexperimenten nachgewiesen werden (Ariizumi & Okada, 1985; Bosco et al., 2000; Bosco et al., 1999; Kvorning et al., 2006; Nakamura et al., 1992). Jedoch zeigt die Literatur kein einheitliches Bild in Bezug auf den Einfluss einer Ganzkörpervibration auf die Hormonkonzentration im Blut des menschlichen Körpers. So zeigen andere Studien keine Effekte einer Vibrationseinwirkung auf den Hormonhaushalt (Cardinale et al., 2006; Erskine et al., 2007). Diese Unterschiede können allerdings auch auf das methodische Vorgehen und einer zu kleinen Stichprobengröße (Bosco et al., 1999; Cardinale et al., 2006; Erskine et al., 2007) oder auf das Fehlen einer Kontrollgruppe (Bosco et al., 2000; Bosco et al., 1999) zurückzuführen sein. Zudem scheint die Auswirkung auf das endokrine System von der Belastungsintensität der Ganzkörpervibration abzuhängen (Erskine et al., 2007; Kvorning et al., 2006). Da in dieser Studie die Belastungsintensität bei 5 Hz bzw. 25 Hz und einem Hub von 4 mm gering war, können für diese Studie hormonelle Veränderung im Blut eher ausgeschlossen werden (siehe Kapitel 2.3.3).

In tierexperimentellen Untersuchungen des Cerebrums nach Vibrationseinfluss zeigen sich Veränderungen der Neurotransmitterkonzentration (Ariizumi & Okada, 1985; Nakamura et al., 1992). Das Ausmaß der Veränderungen ist auch hier von der Belastungsintensität der Vibration und der untersuchten Gehirnregion abhängig, da die verschiedenen Regionen unterschiedlich sensibel auf die Vibration reagieren (Nakamura et al., 1992). Bisher sind derartige Veränderungen auf cerebraler Strukturebene nur in tierexperimentellen Studien bei höheren als den hier verwendeten Frequenzen von 5 Hz nachgewiesen worden (siehe Kapitel 2.3.3). Dennoch können derartige Veränderungen des menschlichen Gehirns in dieser Studie auch nicht für die Vibrationsfrequenz von 5 Hz ausgeschlossen werden, da sich der menschliche und tierische Körperbau grundlegend unterscheidet und sich dadurch die Vibrationsausbreitung im Körper ändert (siehe

Kapitel 2.2.1). In den tierexperimentellen Untersuchungen wurden Ratten ventral auf der vibrierenden Unterlage fixiert (Ariizumi & Okada, 1985; Nakamura et al., 1992). Im Gegensatz dazu standen und saßen die menschlichen Probanden in unserer Studie jedoch frei auf der Vibrationsplatte. Durch die Art der Befestigung, das Aufbringen der Vibration und den unterschiedlichen Körperbau wird sich das Verhalten des menschlichen Körpers und des Rattenkörpers in seinen Dämpfungs- und Resonanzeigenschaften unterscheiden. So zeigten in vitro Messungen eine erste Resonanzfrequenz des Ratten-Femurs bei 925 Hz (Alizad, Walch, Greenleaf & Fatemi, 2006) und für den menschlichen Femur bei 301,6 Hz (Couteau, Hobatho, Darmana, Brignola & Arlaud, 1998).

Neben den Knochen leiten auch andere Strukturen des Körpers die Vibrationen weiter. Angaben zur Ganzkörperresonanzfrequenz des Rattenkörpers liegen in der Literatur bisher nicht vor. Die Resonanzfrequenz des menschlichen Körpers liegt in einem Bereich von 2-6 Hz (Kjellberg, 1990) und die höchste Transmissionsrate wird in sitzender Position bei 5 Hz erreicht (Kubo et al., 2001). Es ist daher wahrscheinlich, dass eine Vibrationseinwirkung mit 5 Hz im menschlichen Körper zu einer Veränderung der Neurotransmitterkonzentration im Cerebrum führt.

Als ein weiterer Effekt des Vibrationstreatments kann für diese Studie ein erhöhter Sauerstoffbedarf im präfrontalen Cortex angenommen werden. Nach Li et al. (2012) kann ein erhöhter Sauerstoffbedarf und damit eine erhöhte Aktivität im präfrontalen Cortex nach einer Vibrationseinwirkung mit 4,5 Hz bzw. 6 Hz in sitzender Position festgestellt werden. Der präfrontale Cortex ist eng verbunden mit exekutiven Funktionen (Cabeza & Nyberg, 2000; Piek et al., 2004) (siehe Kapitel 2.3.3). Allerdings gehen einige Autoren davon aus, dass Vibrationen mit einem stochastischen Anteil eher dazu geeignet sind, Effekte zu erzielen, da sie für die Probanden unvorhersehbar sind (Haas & Schmidtbleicher, 2002; Haas et al., 2006b).

Gleichwohl konnte in unserer Studie mit gesunden, jungen Probanden eine Verbesserung der Handkoordination durch vorhersagbare Vibrationen erzielt werden, die z.B. auf Interferenzerscheinungen durch innere Rauscheinflüsse zurückzuführen sind (siehe Kapitel 2.2.1).

Eine Limitierung bei statischer Haltearbeit stellt der physiologische Tremor dar. Daher kann auch eine Reduktion des Tremors zur den beobachteten Verbesserungen geführt haben. Nach Bain (1993) und ebenso Findley (1996), die sich auf die Arbeit von Marsden (1984) beziehen, gelten der Herzschlag, die Resonanz der Körperteile, die Tiefpassfilterung durch die quergestreifte Muskulatur, die asynchrone Feuerung der Motoneuronen und die Synchronisation der Muskelspindel als allgemeine Entstehungsursachen für den physiologischen Tremor. Die Resonanzeigenschaften der Körperteile könnte durch eine Anpassung der Muskelsteifigkeit verändert worden sein (Cardinale & Bosco, 2003) oder es könnte zu einer Synchronisation der Aktivität von Motoneuronen und Muskelspindeln gekommen sein (siehe Kapitel 2.4.1).

Als ein weiterer Effekt auf zentraler Ebene könnte eine optimierte Selektion der afferenten Signale (z.B. propriozeptive, vestibuläre und visuelle Signale) (Haas, Schulze-Cleven, Turbanski & Schmidtbleicher, 2007a) und eine damit einhergehende Verschiebung der Aufmerksamkeit auf bestimmte Reize vorliegen (Ashton-Miller, Wojtys, Huston & Fry-Welch, 2001). Hierdurch entsteht eine Verbindung zwischen koordinativen und kognitiven Prozessen. Dies konnte auch von anderen Autoren nachgewiesen werden, die davon ausgehen, dass das Zentralnervensystem (z.B. durch Aufmerksamkeit) koordinative Prozesse stabilisieren oder destabilisieren kann (Monno, Temprado, Zanone & Laurent, 2002). Bereits 1980 wurde ein Einfluss von mechanischen Störungen auf kognitive Faktoren angenommen (Harris & Shoenberger, 1980), wobei eine Steigerung der Aufmerksamkeit im Widerspruch steht zu den Ergebnissen von Jiao et al. (2004): sie konnten bei einer Frequenz von 1,8 Hz bzw. 6 Hz, die in der sitzenden Position aufgebracht wurde, eine Erhöhung der Müdigkeit feststellen (siehe Kapitel 2.6.1). Dies wurde jedoch während der Vibration beobachtet und die Wirkungsdauer der Vibration mit war mit 90 Minuten wesentlich länger als in dieser Studie zur Erfassung der Handkoordination. Daher kann vermutet werden, dass sich die Effekte des Körpers zu Beginn einer Vibration von denen unterscheiden, die nach einer längerfristigen Vibrationseinwirkung entstehen.

In der Inter-Messung nach dem 25 Hz Treatment zeigt sich nur für den Parameter der aufsummierten, zurückgelegten Strecke eine signifikante Verbesserung, welche eher auf Veränderungen im Bereich der Muskulatur zurückzuführen sind als auf Veränderungen im Cerebrum.

Die hier verwendete Frequenz liegt außerhalb der Resonanzfrequenz des menschlichen Körpers (Kjellberg, 1990). Kubo et al. (2001) konnten zeigen, dass die Transmissionsrate im Kopf, Thorax, Abdomen und Oberschenkeln mit steigender Vibrationsfrequenz (bis 20 Hz) abnimmt (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.3.2). Kleinöder et al. (2003) konnten ein vergleichbares Ergebnis bei einer 30 %igen Zusatzlast feststellen. Auch hier zeigen die höheren Frequenzbereiche (bis 25 Hz) einen geringeren Transmissionsfaktor und eine damit einhergehende, größere Dämpfung der von außen applizierten Vibration. Kleinöder et al. (2003) interpretierten dies als Schutzreaktion des Körpers.

Aufgrund der Studienlage kann also davon ausgegangen werden, dass die höhere Frequenz eher im Bereich der Muskulatur und weniger im Cerebrum wirksam wird. MRT und PET Studien haben zwar bei höheren Frequenzen Veränderungen im Cerebrum festgestellt, jedoch liegen die Vibrationsfrequenzen mit 50-110 Hz (Bonhomme et al., 2001; Golaszewski et al., 2006) deutlich über den in dieser Studie verwendeten Frequenzen, sodass ein ähnlicher Effekt hier nicht wahrscheinlich ist.

Inter-Post Vergleich

Im Inter-Post Vergleich kommt es zu Interferenzerscheinungen zwischen den Effekten der unterschiedlichen Vibrationsfrequenzen. Studien belegen, dass die Effektdauer von einem Vibrationstreatment 2 bis 48 Stunden anhalten kann (Haas & Schmidtbleicher, 2002). Die Zeitspanne zwischen den beiden Treatments und den anschließenden Messungen lag deutlich unter diesen Werten. Daher kann davon ausgegangen werden, dass es zu Interferenzen zwischen den Auswirkungen der verwendeten Vibrationsfrequenzen gekommen ist.

Für die sitzende Position zeigt sich im Parameter ZS eine signifikante Verbesserung nach dem zweiten Vibrationstreatment mit 25 Hz. Diese Veränderungen sind im aufsummierten, absoluten Abstand vom Nullpunkt (AvN)

nicht ersichtlich. Daher scheinen die Probanden in der Post-Messung den Laserpointer ruhig gehalten zu haben, auch wenn der Lichtpunkt weiter vom Ziel entfernt war.

Bei der Verwendung der anderen Reihenfolge (zuerst 25 Hz und dann 5 Hz) zeigen sich in beiden Parametern (ZS und AvN) keine signifikanten Veränderungen.

Prä-Post Vergleich

Der Prä-Post- 25 Hz Vergleich zeigt für beide Parameter eine signifikante Verbesserung. Unter Einbeziehung der Inter- 5 Hz und Post- 25 Hz Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass diese Verbesserungen primär durch die 5 Hz Bedingung erreicht wurden und nicht durch das 25 Hz Treatment.

In dem Prä-Post- 5 Hz Vergleich konnte für den Parameter ZS eine signifikante Verbesserung festgestellt werden. Der geringe positive Effekt und die signifikanten positiven Effekte von dem 5 Hz Treatment summieren sich zu einem signifikanten positiven Effekt. Dieser Effekt konnte im Inter- 25 Hz und Post- 5 Hz Vergleich nicht festgestellt werden, da die beiden einzelnen Effekte eher gering sind.

Zusammenfassend zeigt ein 5 Hz Treatment ohne vorherige Vibrationseinwirkung eine signifikante Verbesserung der Handkoordination für die Messsituation in sitzender Position. Daher können die Hypothesen

H_{1a}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation im Parameter ZS.

und

H_{1b}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation im Parameter AvN.

bestätigt werden.

Ein 25 Hz Treatment konnte diese Effekte nur im Parameter der aufsummierten Strecke zeigen. Daher kann die Hypothese

H_{IIa}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation im Parameter ZS.

bestätigt werden.

Für die zweiten Parameter konnte dieser Effekt nicht gezeigt werden. Daher muss die Hypothese

H_{IIb}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in der sitzenden Messsituation im Parameter AvN.

verworfen werden.

Die erste Forschungsfrage

F₁: Beeinflusst eine sinusförmige Ganzkörpervibration auf einem Qionic Classic Board die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe in sitzender Position?

muss demnach differenziert betrachtet werden. Für die aufsummierte, zurückgelegte Strecke verbessert sich die Handkoordination unter den beiden verwendeten Frequenzen.

Daher kann die Forschungsfrage

F₃: Unterscheiden sich die Effekte auf die Handkoordination in Abhängigkeit von der verwendeten sinusförmigen Vibrationsfrequenz (5 und 25 Hz)?

mit *nein* beantwortet werden. Bei beiden Frequenzen zeigte sich in der Inter-Messung eine signifikante Verbesserung der Handkoordination. Die Effektgröße variiert jedoch zwischen den beiden Treatments - nach einer Vibration mit 5 Hz zeigt sich eine deutlichere Verbesserung.

Eine Kombination von unterschiedlichen Frequenzen zeigt keine größeren Effekte auf die Handkoordination als eine einzelne Frequenz. Daher sollte auf ein kombiniertes Vibrationstraining zur Verbesserung der Handkoordination verzichtet werden.

4.4.2. Diskussion der Messsituation „Einbeinstand“

Nachfolgend sollen die Ergebnisse der Messsituation im Einbeinstand für die Treatmentfrequenzen 5 Hz und 25 Hz diskutiert werden. Da die Effekte eines Vibrationstreatments von der Höhe der Vibrationsfrequenz abhängen, werden die Ergebnisse der Treatments getrennt voneinander betrachtet.

Zunächst sei jedoch auf die besondere Messsituation hingewiesen. Die Probanden absolvieren in der Messsituation des Einbeinstand eine Doppelaufgabe, die das Balancieren des Körpergewichts auf einem Bein bei gleichzeitiger Zielaufgabe mit dem Laserpointer darstellte. Das Aufrechterhalten des einbeinigen Gleichgewichts stellt eine komplexere Aufgabe an die Probanden als der zweibeinige Stand, da die Unterstützungsfläche und die somatosensorischen Afferenzen geringer sind (Horak, 1987; Wick, 2009).

In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass bei der Ausführung einer Doppelaufgabe (kognitive Aufgabe sowie gleichzeitiger motorische Aufgabe) eine Verbesserung in einer der beiden Aufgaben zu einer Verschlechterung in der

anderen Aufgabe führt (Wickens & Gropher, 1977; Woollacott & Shumway-Cook, 2002).

Prä-Inter Vergleich

Im Prä-Inter- 5 Hz Vergleich zeigen sich für beide Parameter hoch signifikante bzw. höchst signifikante Verbesserungen. Diese Ergebnisse sind vereinbar mit den Messungen in der sitzenden Position und es kann davon ausgegangen werden, dass die vorher besprochenen Veränderungen (siehe Kapitel 4.4.1) durch ein Vibrationstreatment ebenso vorhanden sind. Neben den vorher besprochenen Effekten des Vibrationstreatments in sitzender Position sind in dieser Messsituation Effekte zur Gleichgewichtssteuerung auf einem Bein involviert. Durch die Vibrationseinwirkung könnten physiologische Veränderungen in der Sensorik oder der periphernervalen Ebene erzeugt worden sein (Haas & Schmidtbleicher, 2002; Haas et al., 2006b).

Studien zur Fußsohlensensorik zeigten jedoch nach einem Vibrationsreiz mit 27 Hz bzw. 30 Hz keine Verbesserung. Vielmehr kam es zu einer Verschlechterung in der Druck- und Vibrationsempfindung (Merkel und Pacini – Zellen) (Pollock et al., 2011; Schlee et al., 2012; Sonza et al., 2013). Die dort verwendeten Frequenzen lagen jedoch deutlich über 5 Hz. Daher bleibt es fraglich, wie diese geringe Vibrationsfrequenz die Fußsohlensensorik beeinflusst. Gleichwohl konnte in den hohen wie auch niedrigen Frequenzen eine akute Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit festgestellt werden (Haas et al., 2006b; Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a; Turbanski, 2006), wobei einige Studien mit niedrigen, stochastischen Frequenzen von 5-6 Hz bei Parkinson-Patienten durchgeführt wurden (Haas et al., 2006b; Turbanski, 2006). Bei dieser Personengruppe könnten auch Modifikationen der pathologischen Veränderungen im Thalamus und der supplementär-motorischen Rinde (SMA) zu einer Verbesserung des Gleichgewichts nach einer stochastischen Vibrationseinwirkung führen (Haas & Schmidtbleicher, 2002; Haas et al., 2006b). Demgegenüber konnten diese positiven Effekte auf die Gleichgewichtsfähigkeit mit gesunden, jungen Probanden nach einer Vibrationsfrequenz mit 6 Hz ebenso erzeugt werden (Haas et al., 2004b). Daher erscheint eine muskuläre

Veränderung nach der Vibration ebenfalls denkbar. Hierbei kann die Muskelsteifigkeit verändert (Cardinale & Bosco, 2003) oder auch die muskuläre Koordination verbessert worden sein (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a; Turbanski, 2006) (siehe Kapitel 2.5.1).

Neben automatischen und reflexartigen Regulationsmechanismen beinhaltet die Gleichgewichtsregulation auch einen kognitiven Anteil (McIlroy et al., 1999; Norrie, Maki, Staines & McIlroy, 2002). Nach Norrie et al. (2002) beginnt die kognitive Phase nach ca. 690 ms. Die posturale Kontrolle ist daher von der Aufmerksamkeit abhängig, wobei der Grad der Aufmerksamkeit wiederum von der Gleichgewichtsaufgabe abhängig ist (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Demgemäß muss davon ausgegangen werden, dass bei einem 20 s dauernden Einbeinstand Aufmerksamkeitsprozesse beteiligt sind, die vielleicht durch Vibrationseinwirkungen verändert wurden. Bereits 1980 wurde ein Zusammenhang zwischen mechanischen Störungen und kognitive Faktoren angenommen (Harris & Shoenberger, 1980).

Durch die Gestaltung der Doppelaufgabe kann keine Differenzierung der einzelnen Effekte vorgenommen werden. Aus diesem Grund kann keine Aussage darüber getroffen werden, in wie weit sich die Handkoordination unabhängig von der Gleichgewichtsfähigkeit verändert hat - beide Komponenten der Doppelaufgabe könnten sich unter der 5 Hz Bedingung verbessert haben.

Die zweite Vibrationsfrequenz von 25 Hz zeigt in der Inter-Messung ebenfalls eine hoch signifikante bzw. höchst signifikante Verbesserung in beiden erfassten Parametern. Verbesserungen durch sensorische Effekte können unter der 25 Hz Bedingung ausgeschlossen werden, da Studien mit 27 Hz, 30 Hz bzw. 42 Hz Verschlechterungen in der Druck- und Vibrationsempfindung feststellen konnten (Pollock et al., 2011; Schlee et al., 2012; Sonza et al., 2013). Unter der 27 Hz Bedingung konnte jedoch eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit unter einer einbeinigen Messbedingung (rechtes Bein) mit geöffneten Augen festgestellt werden (Schlee et al., 2012), wohingegen in einer weiteren Studie mit 30 Hz keine Veränderungen beobachtet werden konnten (Pollock et al., 2011).

Ebenfalls denkbar erscheinen eine neuromuskuläre Veränderung und die damit einhergehende verbesserte, muskuläre Koordination (Schlee et al., 2012) und

Veränderung der Muskelsteifigkeit (Cardinale & Bosco, 2003). Dies könnte durch eine Steigerung der Empfindlichkeit des Dehnungsreflexes, die durch eine vorgeschaltete TVR-auslösende Vibration hervorgerufen wird, erklärbar sein (Cardinale & Bosco, 2003). Fraglich bleibt jedoch, ob der TVR unter den verwendeten Vibrationsbedingungen ausgelöst wird (siehe Kapitel 2.3.1).

Inter-Post Vergleich

Die Verwendung einer zweiten Vibrationsfrequenz von 25 Hz nach einem Treatment mit 5 Hz (Inter-Post Vergleich) führt in beiden Parametern zu keiner signifikanten Verbesserung. Eine Addition der unterschiedlichen Effekte scheint daher nicht vorzuliegen.

In der anderen Treatmentreihenfolge zeigt sich nach dem zweiten Treatment mit 5 Hz (Inter-Post-Vergleich) eine signifikante Verbesserung des Parameters ZS. Im zweiten Parameter konnte dies nicht beobachtet werden. Daher scheint die 5 Hz Bedingung eher das Ruhighalten des Laserpointer zu beeinflussen und weniger die Zielgenauigkeit.

Die positiven Effekte durch das erste Treatment werden nur in der Auswertung des Parameters AvN für die Reihenfolge 5 Hz – 25 Hz aufgehoben. In allen anderen Messungen blieben die Effekte erhalten.

Zusammenfassend zeigte ein 5 Hz Treatment ohne vorherige Vibrationseinwirkung eine signifikante bzw. hoch signifikante Verbesserung der Handkoordination für die Messsituation Einbeinstand. Daher können die Hypothesen

H_{IIIa}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe im Parameter ZS.

und

H_{IIIb}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe im Parameter AvN.

bestätigt werden. Die Veränderung der Handkoordination zeigt sich in einer Verbesserung.

Ein 25 Hz Treatment konnte diese Effekte ebenfalls erzielen. Daher können die Hypothesen

H_{IVa}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe im Parameter ZS.

H_{IVb}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 25 Hz beeinflusst die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe bei gesunden, jungen Probanden in einer motorischen Doppelaufgabe im Parameter AvN.

ebenfalls bestätigt werden. Durch die Gestaltung der Messsituation kann nicht eindeutig geklärt werden, ob sich die Handkoordination verbessert oder nur die Gleichgewichtsfähigkeit.

Die zweite Forschungsfrage

F₂: Beeinflusst eine sinusförmige Ganzkörpervibration auf einem Qionic Classic Board die Ausführung einer sich anschließenden Handkoordinationsaufgabe, wenn der Proband eine motorische Doppelaufgabe ausführt?

kann demnach nicht generalisiert mit *ja* beantwortet werden. Die erfasste Handkoordination hat sich unter beiden Vibrationsfrequenzen verbessert.

Daher kann die Forschungsfrage

F₃: Unterscheiden sich die Effekte auf die Handkoordination in Abhängigkeit von der verwendeten sinusförmigen Vibrationsfrequenz (5 und 25 Hz)?

nicht eindeutig beantwortet werden. Jedoch unterscheiden sich die eingesetzten Frequenzen in ihrer Wirkung und beeinflussen unterschiedliche Komponenten der Aufgabe - die sich insgesamt betrachtet - in einer Verbesserung äußern.

4.4.3. Kritische Auseinandersetzung mit der Studie

Durch das Studiendesign kann eine Placebowirkung und eine Veränderung durch einen Lerneffekt nicht ausgeschlossen werden, jedoch wird die Beeinflussung der Ergebnisse durch einen Lerneffekt als sehr gering eingeschätzt. Abgesehen davon, dass die gewählte Koordinationsaufgabe in der Messsituation einfach zu bewältigen war, zeigen die Ergebnisse innerhalb der ersten drei Versuche keinen Lerneffekt. Durch den Einsatz einer Kontroll- und Placebogruppe könnten diese beiden Effekte miterfasst werden.

Aufgrund der Art der Doppelaufgabe in der Messsituation des Einbeinstand konnte nicht differenziert werden, welche Komponente der Doppelaufgabe auf die Verbesserung der erfassten Parameter entscheidend Einfluss genommen hat.

Durch EMG-Messungen hätten genauere Angaben zur muskulären Aktivität während der Messung im Einbeinstand gemacht werden können. So wäre eine Überprüfung des Erklärungsansatzes „Modifikation der neuromuskulären Anpassung“ ermöglicht worden.

Eine Beeinflussung der Atmung auf die Ausführung der Aufgabe kann ebenfalls nicht völlig ausgeschlossen werden. Aus dem Schießsport ist bekannt, dass diese einen großen Einfluss auf die Genauigkeit ausübt. Um die Beeinflussung der Atmung bei allen Probanden möglichst homogen zu gestalten, diente auch das anfängliche Aufwärmen auf dem Fahrradergometer.

4.5. Hinführung zur zweiten empirischen Studie

Es konnte gezeigt werden, dass ein kurzfristiges Vibrationstreatment mit 5 Hz die Handkoordination bei gesunden, jungen Sportler verbessern kann. Dies hat eine große Bedeutung für Präzisionsportarten, wie z.B. den Schießsport, und eröffnet völlig neue Einsatzmöglichkeiten (Siebert & Espig, 2013).

Fraglich bleibt, ob diese Effekte durch einen Lerneffekt oder eine Placebowirkung mitverursacht wurden, auch wenn die Lerneffekte in Bezug auf die Handkoordination als gering einzustufen sind. Darüber hinaus ist ungeklärt, welche anderen Mechanismen diese Verbesserungen hervorrufen. Ebenfalls wurde weder die Effektdauer erfasst, noch die Möglichkeit, ob ein langfristiges Vibrationstraining diese Effekte ebenfalls erzeugen kann. Bedingt durch die Messsituation ist nicht eindeutig geklärt, wie die einzelnen Komponenten der Doppelaufgabe (Einbeinstand und Handkoordination) zur Verbesserung beitragen.

In einer aufbauenden Studie (Studie 2) soll einigen dieser Fragen nachgegangen werden. Zum einen können durch die Implementation einer Kontroll- und Placebogruppe mögliche Lerneffekte und Placebowirkungen miterfasst werden. Wie bereits dargestellt, werden durch ein Vibrationstreatment neben der Beeinflussung des motorischen Bereichs auch Veränderungen der kognitiven Funktionen vermutet (Harris & Shoenberger, 1980). Da diese Beeinflussung im kognitiven Bereich nach einer Vibrationseinwirkung bisher wenig untersucht wurde, ist zum anderen eine zentrale Fragestellung der Studie 2, inwieweit sich ein Vibrationstreatment auf kognitive Funktionen auswirkt. Die weitere Fragestellung befasst sich mit der Gleichgewichtsfähigkeit als motorische Aufgabe.

5. Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

5.1. Zielsetzung

Wie oben angeführt, soll in dieser zweiten empirischen Studie der Einfluss der Vibrationswirkung auf kognitive und motorische Leistungen untersucht werden.

Die Vibrationsfrequenz 5 Hz zeigte bereits signifikante Verbesserungen der Handkoordination in der sitzenden Messposition in der ersten empirischen Studie, daher wird diese Frequenz in der Folgestudie erneut verwendet.

Für die Überprüfung der Auswirkungen auf die Motorik wird die motorische Aufgabe aus der ersten Studie zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Handkoordination nicht übernommen, da diese speziell für die erste Studie entwickelt wurde und die Basis für Vergleichsdaten entsprechend gering ist. Als neue motorische Aufgabe wurde die Gleichgewichtsfähigkeit ausgewählt, da hierfür bereits ein breites Feld an Vergleichsstudien existiert. Des Weiteren besteht nach Woollacott & Shumway-Cook (2002) ein Zusammenhang zwischen motorischen Gleichgewichtsaufgaben und der Aufmerksamkeit, während Haas et al. (2004b) und Turbanski (2006) eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit auf eine Verschiebung der selektiven Aufmerksamkeit zurückführen. Die Autoren vermuten also ebenfalls, dass Veränderungen nach einem Vibrationstreatment auf cerebraler Ebene eingetreten sind, die zu einer Verbesserung der motorischen Gleichgewichtsfähigkeit beigetragen haben (Haas et al., 2004b; Turbanski, 2006). Aus der einleitenden Literaturbesprechung (siehe Kapitel 2.5.1) wurde deutlich, dass eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit nach einer Ganzkörpervibration bei gesunden, jungen Probanden zumeist nur akut nach der Vibration festgestellt werden konnte (Haas et al., 2004b; Pollock et al., 2011; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a). Da Langzeitstudien größtenteils keine Veränderung zeigten (Mahieu et al., 2006; Schlee & Milani, 2012; Torvinen et al., 2002b; Torvinen et al., 2003), sollen auch in der zweiten empirischen Studie nur akute Veränderungen untersucht werden.

Die Überprüfung der kognitiven Leistungen erfolgt separat mit speziellen Aufmerksamkeitstests. Diese umfassen auch exekutive Prozesse, da gezeigt

werden konnte, dass eine Vibrationseinwirkung mit 4,5 bzw. 6 Hz eine erhöhte Aktivität im präfrontalen Cortex hervorrief und diese Region eng mit exekutiven Funktionen zusammenhängt (Cabeza & Nyberg, 2000; Li et al., 2012; Piek et al., 2004). Um den Einfluss des Geschlechts und hormonelle Schwankungen auf die Testleistung in den Aufmerksamkeitstest (Arbuthnott & Frank, 2000; Herlitz, Nilsson & Bäckman, 1997; Mekarski, Cutmore & Suboski, 1996) ausschließen zu können, werden für die Studie ausschließlich männliche Probanden mit vergleichbarer Anthropometrie als Probanden rekrutiert.

Ziel der zweiten empirischen Studie ist es demnach,

den Einfluss einer niederfrequenten Ganzkörpervibration auf die akuten Veränderungen der kognitiven und motorischen Leistung zu untersuchen.

Ebenfalls soll diese Studie klären, ob zwischen diesen beiden Parametern eine Korrelation besteht, um dadurch mögliche Erklärungsmechanismen eines Vibrationstreatments aufzudecken.

Hieraus abgeleitet ergeben sich folgende Forschungsfragen.

- F₁:** Verbessert eine sinusförmige Ganzkörpervibration mit 5 Hz auf einem Qionic Classic Board die Gleichgewichtsfähigkeit von gesunden, jungen, männlichen Probanden?
- F₂:** Besteht ein Zusammenhang zwischen der kognitiven Leistung und der Gleichgewichtsfähigkeit bei gesunden, jungen, männlichen Probanden?
- F₃:** Beeinflusst eine sinusförmige Ganzkörpervibration mit 5 Hz auf einem Qionic Classic Board die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden?

Aus diesen Forschungsfragen lassen sich folgende Hypothesen ableiten.

- H_I:** Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz verbessert die Gleichgewichtsfähigkeit von gesunden, jungen, männlichen Probanden.
- H_{II}:** Es besteht eine Korrelation zwischen der motorischen und kognitiven Aufgabe bei gesunden, jungen, männlichen Probanden.
- H_{III}:** Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden.

5.2. Methodik

5.2.1. Untersuchungsdesign

An dieser Parallelstudie im Doppelblind Prä-Post-Design nahmen 60 männliche Probanden mit einem durchschnittlichen Alter von $25,0 \pm 2,34$ Jahren teil. Die Messungen wurden alle in den Räumlichkeiten des Biomechaniklabors des Institutes für Sport- und Bewegungswissenschaften der Universität Duisburg-Essen im Zeitraum von April 2013 bis Februar 2014 durchgeführt. Vor den Messungen wurden die Probanden randomisiert in drei Gruppen mit unterschiedlichen Treatments eingeteilt. Die Erfassung, Eingabe und Auswertung der Daten erfolgte von jeweils anderen Personen. Die Daten wurden hierzu codiert, damit die auswertende Person keine Rückschlüsse auf das stattgefundene Treatment schließen konnte.

Der Ablauf des Testtages lief bei allen drei Gruppen identisch ab, nur das dazwischen geschaltete Treatment (Vibration mit 5 Hz, Kontrolle und Placebo) variierte zwischen den drei Gruppen.

In verschiedenen Testaufgaben wurde die Gleichgewichtsfähigkeit mit Hilfe einer Kraftmessplattform und die kognitive Aufmerksamkeit mit drei verschiedenen psychologischen Tests erfasst.

Das Untersuchungsdesign wurde von der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Universität Duisburg-Essen unter dem Titel „Der akute Einfluss einer niederfrequenten Ganzköpervibration auf die kognitive und motorische Leistung von jungen Männern“ mit der Bearbeitungsnummer 13-5533-BO genehmigt.

5.2.2. Probanden

Das Kollektiv setzte sich aus 60 männlichen Probanden mit einem durchschnittlichen Alter von $25,0 \pm 2,34$ Jahren zusammen, alle Teilnehmer waren sportlich aktiv. Die Probanden waren im Durchschnitt $1,83 \pm 0,07$ m groß und $81,62 \pm 9,06$ kg schwer. Sie wurden randomisiert den drei Versuchsgruppen zugeteilt. Für die Gleichgewichtsmessung haben alle Untersuchungsteilnehmer das gleiche Schuhmodell getragen (FA Deichmann: Performance Laufschuh, siehe Abbildung 20). Aus Kostengründen wurde dieses Modell nur in drei unterschiedlichen Größen (43, 45, 46 EUR) angeschafft, wodurch Interessenten mit einer abweichenden Schuhgröße automatisch von der Studie ausgeschlossen wurden. Weitere Ausschlusskriterien stellen die Kontraindikatoren nach Kapitel 3.4 dar.

Für die Teilnahme an der Studie erhielten die Probanden eine Aufwandsentschädigung (10,00 €), unabhängig von ihrer Leistung bei den Testaufgaben. Alle Probanden nahmen freiwillig an dieser Studie teil.

5.2.3. Gleichgewichtsmessung

Die Gleichgewichtsmessung wurde auf einer piezoelektrischen Mehrkomponenten-Messplattform (Type 9285, Firma Kistler, Winterthur Schweiz) mit einer Abtastrate von 2500 Hz pro Kanal durchgeführt. Die Kraftmessplattform besitzt ein Außenmaß von 60 cm mal 40 cm und eine Höhe von $15 \pm 0,07$ cm (Kistler Instrumente AG). Die Mehrkomponenten-Messplattform erfasst die Bodenreaktionskräfte mithilfe ihrer vier Kraftmesselemente. Jedes Element erfasst die Kräfte in x-, y- und z-Richtung (Kistler Instrumente AG). Die Messsignale der Kraftmessplattform wurden über Ladungsverstärker transformiert und an die Datenerfassungskarte (IN USB-6229 BNC von National Instruments) geleitet. Diese übermittelte die Messdaten über einen USB Anschluss an den Messrechner. Auf diesem Rechner wurden die Daten in einem LabView Programm (National Instruments Inc., USA) erfasst und die Pfadlänge des Center of Gravity (COG) berechnet (Hömme, 2014; Hömme, Hennig, Müller & Ninck, 2012).

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Die Gleichgewichtsmessungen auf der Messplatte wurden in zwei unterschiedlichen Aufgaben durchgeführt. Die erste Aufgabe bestand aus dem Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geschlossenen Augen (ERZ) (siehe Abbildung 19 rechts) und die zweite Aufgabe aus dem Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geöffneten Augen. Die Aufgabe mit geöffneten Augen wurde durch eine auf der Messplatte liegenden Airex Matte (Dicke 6,4 cm) zusätzlich erschwert (EPA) (siehe Abbildung 19 links).

Es wurden jeweils 3 gültige Versuche à 10 Sekunden gemessen. Bei allen Gleichgewichtsmessungen wurden die Probanden instruiert, die Arme vor der Brust zu verschränken. Das Nichtstandbein sollte angewinkelt werden, ohne es an das Standbein anzulehnen. Die Probanden sollten so still wie möglich stehen.



Abbildung 19: Darstellung der Gleichgewichtsaufgaben (eigenes Bildmaterial)

Das Schuhmodell, welches alle Probanden während der Gleichgewichtsmessung getragen haben, wurde ebenfalls beim Treatment auf der Vibrationsplatte verwendet (siehe Abbildung 19 und Abbildung 20).



Abbildung 20: Victory Performance Laufschuh (eigenes Bildmaterial)

Die Probanden hatten bei allen Versuchen die Möglichkeit, die Messung abubrechen, indem sie die Augen öffneten und/oder sich mit dem zweiten Bein abstützten. Die Reihenfolge der Gleichgewichtsaufgaben wurde über die Probanden randomisiert, jedoch in der Prä- und Post-Messung für den jeweiligen Probanden konstant gehalten.

5.2.4. Verwendete Aufmerksamkeitstests

Um die kognitiven Leistungen zu überprüfen wurden separate Aufmerksamkeitstests durchgeführt. Nach Li et al. (2012) konnte nach einer Vibrationseinwirkung in sitzender Position mit 4,5 Hz bzw. 6 Hz ein erhöhter Sauerstoffbedarf im präfrontalen Cortex festgestellt werden. Diese Region ist eng mit exekutiven Funktionen verbunden (Cabeza & Nyberg, 2000; Piek et al., 2004). Daher umfasst die Testbatterie zur Überprüfung der Aufmerksamkeit zwei Tests, die diese Funktion erfassen. Hierzu zählen der Farbe-Wort-Interferenztest (FWIT) und der Trail Making Test (TMT). Im Weiteren werden die einzelnen Tests kurz vorgestellt.

5.2.4.1. d2-R zur Erfassung der konzentrierten Aufmerksamkeit

Der d2-R nach Brickenkamp et al. (2010) ist eine aktualisierte Version des d2 nach Brickenkamp (2002). Die Testaufgabe und das abgefragte Konstrukt haben sich gegenüber der vorherigen Version (9. Auflage) nicht verändert (Schmidt-

Atzert, 2011). Der d2-R ist ein Durchstreichtest und erfasst die „Konzentrierte Aufmerksamkeit“ (Schmidt-Atzert, Krumm & Bühner, 2008) (siehe Abbildung 6) und die visuelle, selektive Aufmerksamkeit (Falkensteiner, Heger-Binder, Kartusch, Marold & Swoboda, 2006). Der Testbogen besteht - wie bei der vorherigen Version - aus 14 Testzeilen. Jedoch wurde in der aktualisierten Version die Anzahl der Items um 10 auf 57 erhöht.

Die Probanden sollen die Zielvariationen des „d“ mit zwei Strichen erkennen und durchstreichen. Es existieren neben den Zielvariationen 10 ähnliche Distraktoren, die nicht markiert werden sollen. Der Untersuchungsteilnehmer muss daher eine Selektion zwischen relevanten („d“ mit zwei Strichen) und irrelevanten Reizen (Distraktoren) vornehmen.

Als Distraktoren dienen zum einen eine veränderte Anzahl von Strichen bei dem „d“ (ein oder drei Striche) oder der Buchstabe selbst wurde durch ein „p“ ersetzt. Hierbei können alle Anzahlen von Strichen (ein, zwei oder drei Striche) vorkommen (siehe Abbildung 21).

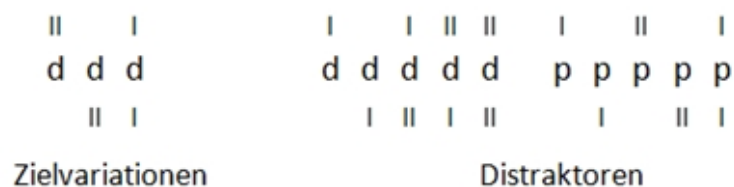


Abbildung 21: Möglichen Zielvariationen und Distraktoren für den d2-R (modifiziert nach Schmidt-Atzert, 2011)

Die Probanden bearbeiten den Test zeilenweise. Für jede Zeile haben sie 20 Sekunden Zeit. In der aktuell zu bearbeitenden Zeile dürfen sie sich während der Bearbeitungszeit von 20 Sekunden selbst verbessern. Nach Ablauf der Zeit erhalten sie vom Versuchsleiter ein Signal und die Aufforderung („Stopp! Nächste Zeile“), mit der Bearbeitung der nächsten Zeile zu beginnen. Da die Zeit ohne weiteres Startsignal weiter läuft, sollen die Probanden unverzüglich mit der folgenden Zeile beginnen. Innerhalb der zeitlichen Vorgabe von 20 Sekunden ist eine komplette Bearbeitung der Zeile kaum möglich (Schellig, Drechsler, Heinemann & Sturm, 2009). Beim d2-R wird die Anzahl der bearbeiteten Zeichen

(BZO), die Anzahl der Fehler (AF und VF), die Sorgfalt bei der Testbearbeitung (F%) und die Konzentrationsleistung (KL) ausgewertet. Bei der Auswertung der Fehler wird zwischen Auslassungsfehlern (AF = das korrekte Objekt wurde nicht erkannt) und Verwechslungsfehlern (VF = ein Distraktor wurde als vermeintlich korrektes Objekt angesehen) unterschieden. Die Sorgfalt bei der Testbearbeitung (F%) wird durch die Parameter AF, VF und BZO durch folgende Formel berechnet: $F\% = ((AF+VF)/BZO) \times 100$. Die Konzentrationsleistung (KL) berechnet sich aus der Anzahl der entdeckten Zielobjekte minus der Verwechslungsfehler (Brickenkamp et al., 2010).

Nach der Definition von Schmidt-Atzert et al. (2004) verlangt dieser Test von dem Probanden eine Aufmerksamkeitsleistung, da eine Selektion zwischen den Zielobjekten und den Distraktoren während erschwelter Bedingungen (Zeichenmenge, Ähnlichkeit der Zielobjekte und Distraktoren, sowie Zeitdruck) verlangt wird.

Die Objektivität dieses Tests wird durch eine standardisierte Durchführung und Auswertung gewährleistet (Schmidt-Atzert, 2004). Durch zahlreiche Tests wurde die Validität und Reliabilität dieses Tests überprüft (Schmidt-Atzert, 2004). Die Standardisierungsvorgaben wurden auch in dieser Studie übernommen.

Bei einer wiederholten Durchführung des d2-Tests zeigten sich deutliche Übungseffekte (Schmidt-Atzert, 2004). Um diese zu erkennen sieht das Testdesign neben der Treatmentgruppe auch eine Kontrollgruppe vor. Zudem werden die Tests bei den unterschiedlichen Gruppen im gleichen zeitlichen Abstand durchgeführt.

5.2.4.2. Farbe-Wort-Interferenztest (FWIT)

Der Farbe-Wort-Interferenztest (FWIT) oder auch Stroop-Test von Bäumler (1985) besteht aus 3 Subtests, jeder Subtest besteht wiederum aus drei Testtafeln. Der erste Subtest erfasst die kognitive Grundfunktion des Lesens: hierbei beinhalten die drei Tafeln jeweils 72 Farbwörter, die vorgelesen werden sollen (siehe Abbildung 22, Spalte FWL) (FWL-a, FWL-b und FWL-c).

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Der zweite Subtest besteht aus drei Tafeln mit jeweils 72 Farbstrichen, die benannt werden sollen (siehe Abbildung 22, Spalte FSB) (FSB-a, FSB-b und FSB-c). Hierdurch soll die kognitive Grundfunktion des Benennens erfasst werden. Beide Subtests (FWL und FSB) können dem Bereich der Informationsverarbeitung zugeordnet werden (Chang, Labban, Gapin & Etnier, 2012).

Die letzten drei Tafeln enthalten jeweils 72 Farbwörter, bei denen die Druckfarbe der Wörter und das geschriebene Farbwort nicht übereinstimmen (INT-a, INT-b und INT-c). Zum Beispiel kann das Farbwort *Grün* in roter Farbe geschrieben sein (siehe Abbildung 22, Spalte INT). Hierbei sollen die Probanden jeweils die Farbe benennen und nicht das Farbwort vorlesen. Dieser Subtest erfasst die Farbe-Wort-Interferenz (Bäumler, 1985) (siehe Abbildung 22) und beinhaltet einen Störreiz, welcher ein Merkmal vieler Konzentrationstests ist (Schmidt-Atzert & Amelang, 2012). „Der Stroop-Test gilt als das Paradigma schlechthin zur Erfassung exekutiver Funktionen im Sinne der Interferenz“ (Schellig et al., 2009, S. 976). Nach Falkensteiner et al. (2006) erfasst der FWIT ebenfalls die visuelle, selektive Aufmerksamkeit.




FWL	FSB	INT
BLAU		GRÜN
ROT		GELB
GELB		ROT
BLAU		BLAU
ROT		GELB

Abbildung 22: Ausschnitte aus der Übungstafel (modifiziert nach Bäumler, 1985)

Bei allen Subtests wird die benötigte Zeit erfasst.

Während die Auswertungsobjektivität durch die standardisierten Vorgaben hochgradig objektiv ist, ist die Durchführungsobjektivität vom Testleiter abhängig (Bäumler, 1985). Um auch eine möglichst hohe Durchführungsobjektivität zu

gewährleisten, ist der Test für diese Studie nur von zwei geschulten Testleitern durchgeführt worden.

Der gesamte Test gilt als reliabel und valide. Mit Intelligenztests weist er eine niedrige Korrelation auf, jedoch korreliert er mit anderen Konzentrations- und Aufmerksamkeitstests, wie z.B. dem d2. Für die ersten 10 Wiederholungen ist ein Übungseffekt zu erwarten (Bäumler, 1985).

Für unsere Messung verwendeten wir aus Zeitgründen jeweils nur eine Tafel pro Subtest. Bei der Prä-Messung wurden die Tafeln FWL-b, FSB-b und INT-b und bei der Post-Messung die Tafeln FWL-c, FSB-c und INT-c verwendet. Die a-Tafeln dienten zur kurzen Eingewöhnung und Erklärung des Tests.

5.2.4.3. Trail Making Test (TMT)

Nach Schellig et al. (2009) erfasst der Trail Making Test die allgemeine Hirnfunktionsleistung. Er ist ein sehr verbreiteter, neuropsychologischer Test und wird in vielen Testbatterien eingesetzt (Tombaugh, 2004). Dieser Test besteht aus den zwei Teilen A und B.

Im Teil A sollen die Probanden die Zahlen von 1 bis 25, die auf einem DIN-A-4 Blatt verstreut sind, in möglichst kurzer Zeit der numerischen Reihenfolge nach verbinden. Dabei soll der Stift zu keiner Zeit vom Blatt genommen werden. Dem Probanden werden Fehler direkt mitgeteilt, die vom Probanden sofort korrigiert werden müssen. Bei diesem Test wird nur die benötigte Zeit gemessen, da sich die Fehler durch die Berichtigung in der benötigten Zeit widerspiegeln.

Beim Testblatt B sollen Zahlen und Buchstaben im Wechsel (1-A-2-B) nach numerischer und alphabetischer Reihenfolge verbunden werden. Dabei reichen die Zahlen von 1-13 und die Buchstaben von A-L. Die Gesamtanzahl der Zahlen und Buchstaben ergibt wieder 25, wie im Testteil A. Auch hier wird wieder die Zeit gemessen. Die Fehler müssen während des Testes berichtete werden, wodurch die Gesamtbearbeitungszeit beeinflusst wird.

Es wird angenommen, dass der Testteil A primär visuelle und motorische Fähigkeiten abfragt und der Testteil B auch die mentale Flexibilität erfasst, die nach Bowie & Harvey (2006) eine höhere kognitive Fähigkeit darstellt. Chang et al.

(2012) fassen diesen Test, wie auch den FWIT bzw. Stroop-Test, in den Bereich der exekutiven Funktionen. Der Testteil A kann als Basis für den Testteil B angesehen werden. Über die zeitliche Differenz zwischen diesen Testteilen wird der zeitliche Aufwand für die exekutiven Funktionen ermittelt (Arbuthnott & Frank, 2000).

Zu Objektivität, Reliabilität und Validität liegen keine Angaben vor (Schellig et al., 2009).

5.2.5. Tests für einen Gruppenvergleich

Um die Teilnehmer der Gruppen zu vergleichen wurden drei weitere Tests durchgeführt. Nach Bowie und Harvey (2006) besteht zwischen der Testleistung im TMT und der Intelligenz eine Korrelation. Aus diesem Grund wurde ein Untertest aus dem Leistungsprüfsystem nach Horn (1983) mit in die Testbatterie übernommen. Die zwei anderen Tests (BFI-10 und TKS) sollten eine Aussage zur Persönlichkeit und dem kognitiven Schätzen der Probanden ermöglichen.

5.2.5.1. Test zum kognitiven Schätzen (TKS)

Der Test zum kognitiven Schätzen (TKS) nach Brand, Kalbe und Kessler (2002) beinhaltet vier Schätzdimensionen. Die Dimensionen vier Größe, Gewicht, Anzahl und Zeit wurden in dieser Studie durch jeweils vier Items erfasst.

Mit Hilfe einer bildhaften Darstellung in Form einer PowerPoint Präsentation wurden die ersten drei Dimensionen abgefragt. Der Proband schätzte hierbei z.B. wie schwer ein dargestellter Gegenstand ist.

Die vier Fragen zur Dimension Zeit beinhalteten die Einschätzung der zeitlichen Dauer von bestimmten Ereignissen oder Tätigkeiten. Hierbei wurden die Schätzfragen ebenfalls in Form einer PowerPoint Präsentation gezeigt.

Die einzelnen Folien mit den Abbildungen oder Schätzfragen wurden durch eine Einstellung im Präsentationsprogramm für jeweils 5 Sekunden gezeigt. Für die Antwort hatten die Probanden keine Zeitvorgabe. Die Schätzwerte wurden vom Testleiter direkt auf dem Testbogen notiert und überprüft, ob die Antworten des

Probanden innerhalb einer vorgegebenen Rahmenvorgabe liegen (Berger, Rockenbach, Brand, Kalbe & Kessler, 2004; Schellig et al., 2009).

Der TKS bietet hinsichtlich seiner Durchführung (Zeigen der Items in einem gewissen Zeitfenster) und Auswertung mittels standardisiertem Auswertebogen eine hohe Objektivität. Die Reliabilität und Validität wurden ebenfalls überprüft und als zufriedenstellend bewertet (Berger et al., 2004).

5.2.5.2. Big Five Inventory – 10 Items (BFI-10)

Der Big Five Inventory (BFI-10) nach Rammstedt und John (2007) ist ein Persönlichkeitsfragebogen mit nur 10 Items. Er bezieht sich auf das Big Five Modell der Persönlichkeit, welches folgende fünf Persönlichkeitsfaktoren beinhaltet: Extraversion, Neurotizismus, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit und Offenheit für Erfahrungen (Rammstedt & John, 2007; Schmidt-Atzert & Amelang, 2012). Der BFI-10 basiert auf der Grundlage des Big Five Inventory mit 44 Items (BFI-44). Aus diesem wurden für den BFI-10 jeweils zwei aussagekräftige Items pro Persönlichkeitsfaktor ausgewählt. Diese werden auf einer 5-Punkte Skala von 1 = „trifft überhaupt nicht zu“ bis 5 = „trifft voll und ganz zu“ beantwortet (Rammstedt & John, 2007). Hierbei sind die zwei Items pro Persönlichkeitsfaktor invertiert aufgebaut. In der Berechnung der Mittelwerte für den Gruppenvergleich muss diese Invertierung berücksichtigt werden. Der BFI-44 ist auf seine Reliabilität und Validität überprüft. Trotz Reduzierung der Item-Anzahl behält der BFI-10 einen wesentlichen Teil der Reliabilität und Validität vom BFI-44 (Rammstedt & John, 2007).

Der BFI-10 wurde in dieser Studie als Paper-Pencil Test durchgeführt und aufgrund seiner Testökonomie ausgewählt, da andere Persönlichkeitstests wesentlich mehr Items abfragen. Der Fragebogen NEO-PI-R (NEO-Persönlichkeitsinventar-Reversion) zum Beispiel basiert ebenfalls auf dem Big Five Modell der Persönlichkeit, umfasst jedoch 240 Items (Schmidt-Atzert & Amelang, 2012). Eine Aussage über die Persönlichkeit ist in dieser Studie sinnvoll, da durch einen unterschiedlichen Ausprägungsgrad, z.B. in dem

Persönlichkeitsfaktor Gewissenhaftigkeit, die Testergebnisse der Aufmerksamkeitstests verschieden ausfallen können.

5.2.5.3. Leistungsprüfsystem (LPS)

Das Leistungsprüfsystem nach Horn (1983) umfasst 15 Untertests und zählt zu den „breiten“ Intelligenztests (Schmidt-Atzert & Amelang, 2012). Es erfasst das „Problemlösen“ aus der Perspektive der Intelligenzforschung (Schellig et al., 2009).

In dieser Studie wurde aus zeitlichen Gründen nur der vierte Untertest (LPS4) verwendet. Bei diesem Testteil sollte der Proband in einer Reihe von Zahlen oder/und Buchstaben den logischen Fehler finden und markieren. Auf dem Testbogen wurde zu Beginn folgendes Beispiel vorgestellt: 2 2 2 2 2 3 2 2 2. Der logische Fehler in dieser Reihe ist die 3, die vom Probanden markiert werden musste. Der Proband hatte für den Test insgesamt eine Bearbeitungszeit von 8 Minuten, als Hilfestellung hinsichtlich der Buchstabenreihen war das Alphabet unten auf dem Bogen abgedruckt (Horn, 1983; Schellig et al., 2009). Während die Objektivität und Reliabilität für den gesamten Test mit seinen 15 Untertests als gesichert gilt, gibt es hinsichtlich der Validität noch Klärungsbedarf (Rauchfleisch, 1994).

5.2.6. Eingesetzte Treatmentbedingungen

Nachfolgend sollen die Treatmentbedingungen in den drei unterschiedlichen Versuchsgruppen kurz vorgestellt werden. Die Aufteilung erfolgte in eine Vibrations-, Kontroll- und Placebogruppe.

5.2.6.1. Vibrations- und Kontrollbedingung

Die Durchführung der Übungen auf der Vibrationsplatte erfolgte in dieser Studie mit Schuhen in Anlehnung an Torvinen et al. (2002a). Die Vergleichbarkeit der Dämpfungseigenschaften des Schuhwerks (Marín et al., 2009) wurde dadurch

sichergestellt, dass alle Probanden während der gesamten Testung ein Paar Victory Performance Laufschuhe trugen. In der Experimentalgruppe betrug die Vibrationsfrequenz 5 Hz und bei der Kontrollbedingung war das Gerät ausgeschaltet. Der genaue Ablauf und die Übungen auf der Vibrationsplatte sind im Kapitel 3.3 bereits beschrieben worden.

5.2.6.2. Placebobedingung

Die dritte Gruppe erhielt als Placebo eine undurchsichtige, vegetarische Leerkapsel (HPMC) der Größe 1 (19,0 x 6,6 mm) mit einem Glas (23 cl) Mineralwasser (siehe Abbildung 23). Dieser Leerkapsel wurden keine weiteren Inhaltsstoffe zugesetzt. Damit dies durch die Probanden nicht bemerkt werden konnte, wurden undurchsichtige Kapseln gewählt. Die Leerkapseln bestehen nur aus Zellulose und enthalten laut Herstellerangaben keine weiteren Inhaltsstoffe, wie z.B. Gelatine oder Laktose (Kapsel-Handel), sodass diese Kapseln z.B. auch bei veganer Ernährungsform eingenommen werden konnten.



Abbildung 23: Vegetarische Leerkapsel (eigenes Bildmaterial)

Da bereits die Gabe von Wasser die Testleistung für das visuelle Suchen und die visuelle Aufmerksamkeit verbessert kann (Edmonds & Jeffes, 2009), mussten auch die anderen Gruppen ein Glas Wasser trinken.

5.2.7. Testprotokoll

In einem Eingangsgespräch wurde abgeklärt, ob Kontraindikatoren (siehe Kapitel 3.4) vorlagen, die ein Vibrationstreatment auf der Vibrationsplatte und damit die Teilnahme an dieser Studie ausschlossen. Der Ablauf der Studie und die eingesetzten Aufmerksamkeitstest (d2-R, FWIT und TMT) wurden den möglichen

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Studienteilnehmern kurz erläutert. Falls keine Kontraindikatoren vorlagen und der Proband einer Teilnahme zustimmte, wurde der Versuchsperson eine Probandeninformation ausgehändigt (siehe Anhang) und mit ihr ein Messtermin vereinbart.

Am Messtermin wurden die Probanden randomisiert den drei Gruppen (siehe 5.2.6.1 und 5.2.6.2) zugeteilt. Die Zuteilung zu den unterschiedlichen Treatments erfolgte unabhängig von der Versuchsperson. Bevor die Messungen beginnen konnten, mussten die Teilnehmer durch eine Einwilligungserklärung die freiwillige Teilnahme bestätigen. Die Probanden hatten genügend Zeit, die Einwilligungserklärung und noch offene Fragen zu klären. Mit der Einwilligungserklärung wurden auch einige anthropometrische Daten (Körpergröße und Schuhgröße) erfasst.

Der Ablauf der Messungen wurde für die drei Gruppen identisch gestaltet, die Gruppen unterschieden sich lediglich in dem zwischengeschalteten Treatment.

Wie bereits im Kapitel 4.2.6 angesprochen, sind die Effekte einer Trainingsübung (z.B. Kniebeugen auf der Platte) inklusive einer Ganzkörpervibration auf Herzschlag und Blutdruck gleichwertig gegenüber reinen Trainingsübungen (Kerschán-Schindl et al., 2001; Yamada et al., 2005). Da Chang et al. (2012) nachweisen konnten, dass körperliche Übungen einen schwach positiven Effekt auf kognitive Funktionen haben, führten alle Gruppen ein 5-minütiges Aufwärmprogramm auf einem Fahrradergometer aus (Bosco et al., 2000; Bosco et al., 1999; Marín et al., 2009). Hierfür wurde ein T1680 Flow Ergotrainer der Firma Tacx mit einem Mountainbike der Firma Raleigh verwendet (siehe Abbildung 24), welches an die individuelle Körpergröße der Teilnehmer angepasst werden konnte.



Abbildung 24: Fahrradergometer mit Mountainbike (eigens Bildmaterial)

Direkt im Anschluss an die Aufwärmung erfolgte die Gleichgewichtsmessung mit den zwei unterschiedlichen Aufgaben (siehe 5.2.3). Daran anschließend wurde die Prä-Messung der Aufmerksamkeitstests mit dem d2-R Durchstreichtest nach Brickenkamp et al. (2010), dem Farbe-Wort-Interferenztest (FWIT) nach Bäuml (1985) und dem Trail Making Test (TMT) nach Bowie & Harvey (2006) durchgeführt. Die Reihenfolge, in der die Tests bearbeitet und die Gleichgewichtsaufgaben durchgeführt wurden, war für die Versuchspersonen randomisiert, jedoch intraindividuell für die Prä- und Post-Messung konstant.

Um die Durchführungsobjektivität der Tests zu gewährleisten, erfolgte die Erläuterung der Testaufgaben nach standardisierten Vorgaben. Zudem wurden die Tester im Vorfeld genau instruiert, wie bei einem möglichen Fehler oder einer eigenständigen Verbesserung durch den Probanden vorzugehen war. Die Durchführung aller Tests fand in einem separaten, abschließbaren Raum statt, um Störvariablen aus dem Umfeld zu minimieren.

Nach den Aufmerksamkeitstests wurden zwei kurze Tests (BFI-10 und TKS) zur Beschreibung der Stichprobe durchgeführt (siehe 5.2.5.1 und 5.2.5.2).

Um eine konstante Zeitspanne zwischen der Prä- und Post-Messung zu gewährleisten, wurde eine Beschäftigungsaufgabe zwischengeschaltet, die aus dem Sortieren von zwei unterschiedlichen Sorten Schrauben bestand. Das Sortieren der Schrauben wurde als Beschäftigungsaufgabe ausgewählt, weil sie für alle Probanden kein großes Interesse erzeugen sollte. Die zeitliche Ausdehnung dieser Aufgabe wurde so angepasst, dass zwischen dem Beginn des ersten Aufmerksamkeitstests und der Beendigung der Beschäftigung 20 Minuten lagen.

Im Anschluss erfolgte wieder eine 5-minütige Aufwärmung auf dem Fahrradergometer. Daran schloss sich das Treatment an. Die Vibrations- und Kontrollbedingungen wurden auf einem Qionic Classic Board (siehe 5.2.6.1) ausgeführt.

Die dritte Gruppe erhielt als Placebo eine undurchsichtige, vegetarische Leerkapsel (HPMC) der Größe 1 (19,0 x 6,6 mm). Alle Teilnehmer der drei Gruppen erhielten zum Treatment ein Glas (23 cl) Mineralwasser, dass von ihnen vollständig ausgetrunken werden sollte.

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Danach erfolgte die Post-Messung für die Gleichgewichtsaufgaben und die Aufmerksamkeitstests. Hierbei wurden die Aufgaben und Tests in der gleichen Reihenfolge wie in der Prä-Messung durchgeführt. Zum Abschluss erfolgte der vierte Untertest vom Leistungsprüfsystem nach Horn (1983) als weiterer Test für die Vergleichbarkeit der drei Treatmentgruppen.

Jeder Proband führte diese Studie an einem Messtag durch. Die Probanden trugen während der gesamten Messungen den Laufschuh Victory Performance. Eine Übersicht des Messablaufs wird in Tabelle 5 dargestellt.

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Tabelle 5: Tabellarische Übersicht zum Ablauf der Messung

Kontrolle (n = 20)	Vibration (n = 20)	Placebo (n = 20)
Aufwärmung 5 Minuten auf dem Fahrrad Ergometer fahren		
Prä Gleichgewichtsaufgabe d2-R, FWIT (Testbogen B), TMT (Reihenfolge randomisiert!) BFI-10 und TKS		
Pause & Aufwärmung X Minuten Pause + Beschäftigung (Schrauben sortieren) (zwischen dem ersten Aufmerksamkeitstest und dem Ende der Beschäftigung sollen 20 Minuten liegen) 5 Minuten Aufwärmung auf dem Fahrradergometer		
Treatment Übungen (siehe Gruppe Vibration) auf der ausgeschalteten Vibrationsplatte Für 2 Minuten f = 0 Hz Fußposition 2 + Wasser	Treatment 1 Minute in stehender Position auf der Vibrationsplattform mit Kniebeugen und Zehenstand 1 Minute auf der Vibrationsplattform sitzend Jeweils f = 5 Hz Fußposition 2 + Wasser	Treatment Placebo Vegetarische Leerkapsel + Wasser
Post Gleichgewichtsaufgabe D2, FWIT (Testbogen C), TMT LPS4		

5.2.8. Datenerfassung und Datenverarbeitung

Die Aufmerksamkeits- und Gruppenvergleichstests wurden als Paper und Pencil Tests erhoben.

Die Auswertung des d2-R zur Erfassung der „Konzentrierten Aufmerksamkeit“ erfolgte mit Hilfe von zwei Schablonen. Innerhalb der einzelnen Zeilen erfolgte die Zählung der bearbeiteten Zielobjekte (BZO) unabhängig davon, ob diese vom

Probanden markiert wurden oder nicht. Danach wurden die Auslassungsfehler (AF) und Verwechslungsfehler (VF) pro Zeile gezählt. Die Gesamtzahl für BZO, AF und VF ergibt sich aus Zeile 2 bis 13. Die erste und letzte Zeile des Tests findet für die Auswertung keine Berücksichtigung.

Im Anschluss daran wurde die Konzentrationsleistung (KL) und die Sorgfalt bei der Testbearbeitung (F%) über folgende Formeln berechnet: $KL = BZO - AF - VF$ und $F\% = ((AF+VF)/BZO) \times 100$ (Brickenkamp et al., 2010). Ein hoher KL-Wert spiegelt eine hohe Konzentrationsleistung wieder, wohingegen es sich beim F%-Wert umgekehrt verhält, wonach eine hohe Sorgfalt in der Testbearbeitung bei einem geringen F%-Wert vorliegt.

Die Bearbeitungszeiten des Farbe-Wort-Interferenztests und des Trail Making Tests (zur Erfassung der exekutiven Funktion) wurden jeweils direkt bei der Testdurchführung in einem Protokoll erfasst.

Die Bearbeitung des Gruppenvergleichstests zur Erfassung der Persönlichkeit (BFI-10) und der LPS-4 (als Intelligenzschätzer) erfolgt vom Probanden direkt auf einem Fragebogen bzw. einem Testbogen.

Beim Test zum kognitiven Schätzen (TKS) erfasst der Versuchsleiter die Angaben des Probanden direkt auf einem Auswertungsbogen und überprüft, ob die Antwort innerhalb eines vorgegebenen Bereiches liegt.

Die Erfassung der Rohdaten von der Gleichgewichtsmessung erfolgte über ein LabView Programm. Zur Berechnung der zurückgelegten Strecke s des COG wurden die Daten in eine vorgefertigte Excel-Tabelle kopiert, in der die Berechnungen vorgenommen wurden. Im Anschluss wurden die Mittelwerte der Gleichgewichtsparameter berechnet.

Die statistische Bearbeitung aller Daten erfolgte in SPSS 18 (PASW Statistics 18).

5.2.9. Datenanalyse

Die Auswertung der Daten erfolgte im Statistikprogramm SPSS (Version 18). Die Daten wurden mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung überprüft.

Zum Vergleich der drei Gruppen in Bezug auf ihre anthropometrischen Daten (Alter, Gewicht und Körpergröße) und Ergebnisse in den Gruppenvergleichstests (BFI-10, LPS-4 und TKS) wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (Faktor: Gruppe, abhängige Variable: die Testergebnisse bzw. anthropometrische Daten) mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Wenn keine Normalverteilung vorlag, wurde ein Kruskal-Wallis H-Test eingesetzt.

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf einem Faktor wurde für den Vergleich der Gruppenunterschiede in Bezug auf die Leistungen in den Aufmerksamkeitstests (d2-R, TMT und FWIT) bzw. der Gleichgewichtsmessung über die zurückgelegte Strecke s des COG verwendet. Zum anschließenden paarweisen Vergleich wurden post-hoc t-Tests mit Bonferroni-Korrektur eingesetzt. Das statistische Signifikanzniveau wurde auf eine Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5% ($p < 0,05$), für eine statistisch hohe Signifikanz unter 1% ($p < 0,01$) und für eine statistisch höchste Signifikanz unter 0,1% ($p < 0,001$) gesetzt. In den Abbildungen wurden diese durch *, ** und *** kenntlich gemacht.

Zum Vergleich der zwei unterschiedlichen Gleichgewichtsaufgaben wurde ein t-Test mit verbundenen Stichproben in der Prä-Bedingung durchgeführt.

Zur Überprüfung einer Korrelation zwischen den Aufmerksamkeitstests und den Gleichgewichtsaufgaben wurden die einzelnen Korrelationen in der Prä-Bedingung berechnet.

5.3. Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der anthropometrischen Daten und Gruppenvergleichstests dargestellt, da sie für die weitere Auswertung die Grundlage bilden. Im Anschluss werden die Daten der Gleichgewichtsmessung vorgestellt, aufgeteilt nach den zwei unterschiedlichen Gleichgewichtsaufgaben. Es wird ebenfalls überprüft, ob eine Korrelation zwischen den erfassten Gleichgewichtsdaten und den Ergebnissen der Aufmerksamkeitstests besteht. Zum Schluss erfolgt die Darstellung der Ergebnisse der Aufmerksamkeitstests, aufgeteilt nach den unterschiedlichen Tests.

5.3.1. Anthropometrische Daten und Gruppenvergleichstests

Die Parameter Alter, Gewicht und Körpergröße zeigen nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test eine Normalverteilung über alle 60 Probanden. Die anschließende, einfaktorielle Varianzanalyse zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Versuchsgruppen für das Alter, das Gewicht und die Körpergröße. Die Mittelwerte über alle drei Gruppen sind in Kapitel 5.2.2 angegeben und die Aufteilung nach den unterschiedlichen Gruppen ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Anthropometrische Daten der drei Untersuchungsgruppen mit 60 Probanden

	Placebo	Kontrolle	Vibration
Alter in Jahren	25,4 ± 2,46	24,6 ± 2,19	25,1 ± 2,44
p	0,603		
Gewicht in kg	82,3 ± 9,79	81,6 ± 7,84	81,0 ± 9,83
p	0,904		
Körpergröße in m	1,82 ± 0,09	1,84 ± 0, 6	1,83 ± 0,06
p	0,750		

In Bezug auf die Tests zum Gruppenvergleich liegt für den Persönlichkeitsfragebogen (BFI-10) und für drei der vier Parameter des Intelligenzschätzers (LPS-4) eine Normalverteilung vor. Für diese wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse verwendet. Die Analyse zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen für alle Parameter des BFI-10 und für die Parameter des LPS-4, hier also Anzahl der bearbeiteten Items, Anzahl der richtig bearbeiten Items und Anzahl der nicht bearbeiteten Items. Für die Parameter des TKS und einen Parameter des LPS-4 wurde aufgrund der nicht vorhandenen Normalverteilung der Kruskal-Wallis H-Test eingesetzt. Die einzelnen Parameter zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Untersuchungsgruppen (siehe Tabelle 7).

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Tabelle 7: Ergebnisse der Gruppenvergleichstest der drei Untersuchungsgruppen

	Placebo	Kontrolle	Vibration
LPS-4 Anzahl der bearbeiteten Items	34,2 ± 3,51	32,8 ± 4,03	33,9 ± 3,63
p	0,481		
LPS-4 Anzahl der Fehler	4,30 ± 3,61	2,85 ± 3,56	2,85 ± 2,30
p	0,220		
LPS-4 Anzahl der richtig bearbeiten Items	29,9 ± 3,27	30,0 ± 3,82	31,1 ± 3,24
p	0,479		
LPS-4 Anzahl der nicht bearbeiten Items	5,85 ± 3,51	7,20 ± 4,03	6,10 ± 3,27
P	0,481		
TKS Gesamt	11,5 ± 1,93	11,6 ± 1,82	12,3 ± 1,08
p	0,352		
BFI-10 Extraversion	7,60 ± 1,70	6,90 ± 1,62	6,95 ± 1,93
P	0,378		
BFI-10 Verträglichkeit	6,30 ± 1,42	6,45 ± 1,32	6,60 ± 1,57
P	0,805		
BFI-10 Gewissenhaftigkeit	5,75 ± 1,29	6,10 ± 1,77	6,35 ± 1,39
P	0,451		
BFI-10 Neurotizismus	4,55 ± 1,70	5,30 ± 1,21	5,00 ± 1,21
P	0,240		
BFI-10 Offenheit	6,60 ± 1,88	6,85 ± 1,81	6,30 ± 2,39
p	0,697		

5.3.2. Gleichgewicht

Die Gleichgewichtsmessung umfasste zwei unterschiedliche Gleichgewichtsaufgaben (siehe Kapitel 5.2.3). Hierdurch ergibt sich eine weitere Aufteilung der Hypothesen.

H_{1a}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz verbessert die Gleichgewichtsfähigkeit von gesunden, jungen, männlichen Probanden im Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geöffneten Augen auf einer Airex-Matte.

H_{1b}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz verbessert die Gleichgewichtsfähigkeit von gesunden, jungen, männlichen Probanden im Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geschlossenen Augen.

Die Messergebnisse zeigen für beide Messsituationen deutliche Schwankungen zwischen der Prä- und Post-Messung. Zur Eliminierung der größten Abweichungen wurde eine 30 % Grenze für die Veränderung zwischen den beiden Messzeitpunkten festgesetzt. Bei der Verwendung dieser Grenze fließen 51 Probanden in die Auswertung des Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geschlossenen Augen (ERZ) und 48 Versuchspersonen in die Auswertung des Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geöffneten Augen auf der Airex-Matte (EPA) ein. Eine erneute Überprüfung der Gruppen, bezogen auf ihre anthropometrischen Daten und die Ergebnisse im Gruppenvergleichstest, zeigt keine signifikanten Unterschiede in diesen Parametern (siehe Anhang). Die Auswertung gestaltete sich analog zu dem im Kapitel 5.2.9 beschriebenen Vorgehen.

Beide Gleichgewichtsaufgaben zeigen für die zurückgelegten Strecken s des COG eine Normalverteilung. Der Vergleich der zwei unterschiedlichen Gleichgewichtsaufgaben unter der Prä-Bedingung mit Hilfe eines t-Tests für verbundene Stichproben über alle 41 Probanden zeigt für die zurückgelegte Strecke s des COG einen signifikanten Unterschied ($p < 0,000$) zwischen dem Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geschlossenen Augen (ERZ) und dem

Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geöffneten Augen auf einer Airex Matte (EPA). Hierbei unterscheidet sich die Strecke zwischen den beiden Aufgaben im Mittel um 32 cm. Bei der Aufgabe ERZ liegt mit einer mittleren, zurückgelegten Strecke s des COG von 84 cm ein größeres Schwankungsausmaß gegenüber EPA mit 52 cm vor. Zwischen diesen beiden Aufgaben besteht eine Korrelation von $r = 0,399$ mit einem $p = 0,010$ (siehe Abbildung 25).

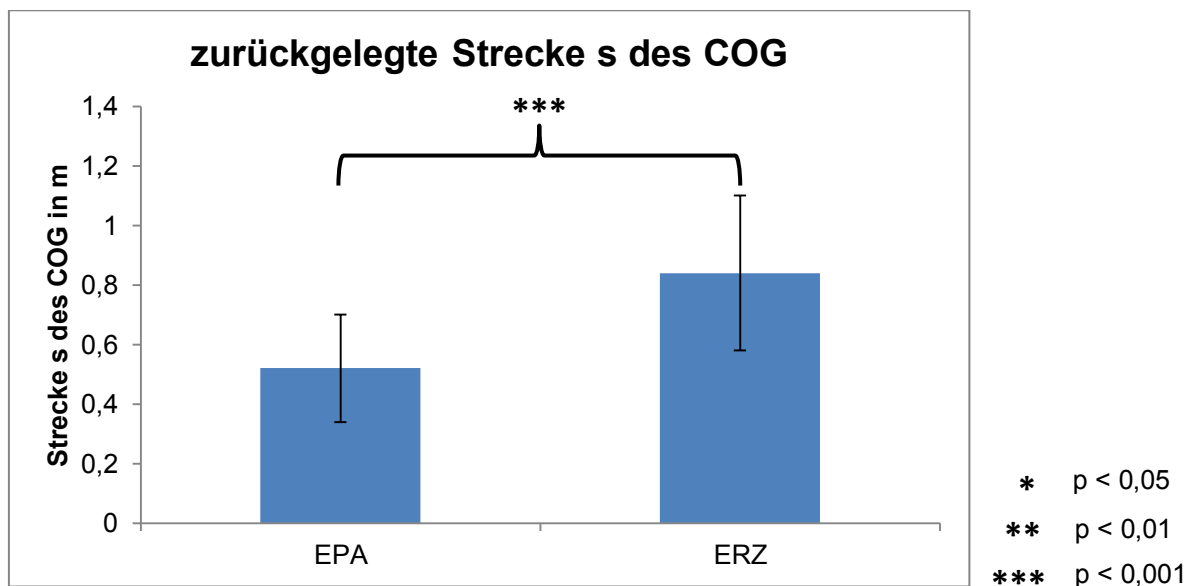


Abbildung 25: zurückgelegte Strecke s des COG

5.3.2.1. Ergebnisse des Einbeinstand mit geöffneten Augen auf der Airex Matte (EPA)

Im Prä-Post-Vergleich zeigt sich für die Auswertung über 48 Probanden eine signifikante Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten über alle Versuchsgruppen. Ein Trend zur Veränderung ist für die Interaktion (Zeitpunkte * Gruppe) feststellbar. Kein Unterschied zeigt sich zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 8).

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Tabelle 8: Signifikanzwerte für den Parameter EPA mit 48 Probanden

	EPA
Zeitpunkte	0,043
Zeitpunkte * Gruppe	0,077
Gruppe	0,373

In einem einseitigen post-hoc t-Test für verbundene Stichproben zeigt sich in der Vibrationsgruppe eine statistisch höchst signifikante Verbesserung zwischen der Prä- und Post-Messung mit $p = 0,001$ für den Parameter EPA. Hierbei verbessern sich die Probanden um 7 cm. Für die Kontroll- und Placebogruppe zeigen sich keine signifikanten Veränderungen ($p = 0,490$ bzw. $p = 0,278$; siehe Abbildung 26).

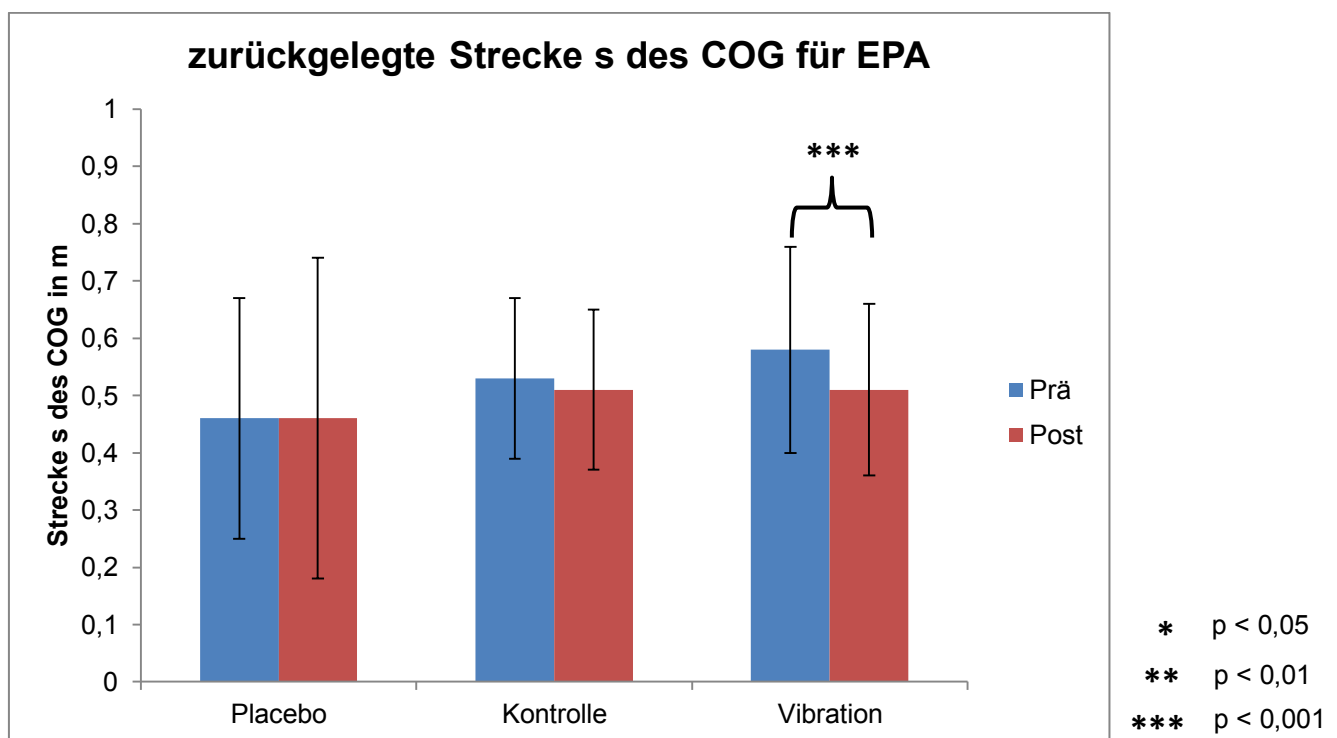


Abbildung 26: zurückgelegte Strecke s des COG für EPA

5.3.2.2. Ergebnisse des Einbeinstand mit geschlossenen Augen auf dem rechten Bein (ERZ)

In der Auswertung mit 51 Versuchspersonen zeigt sich im Prä-Post-Vergleich eine statistisch hoch signifikante Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten über alle Versuchsgruppen mit $p = 0,002$. Keine Unterschiede zeigen sich zwischen den Gruppen oder in der Interaktion (Zeitpunkt * Gruppe) (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Signifikanzwerte für den Parameter ERZ mit 51 Probanden

	ERZ
Zeitpunkte	0,002
Zeitpunkte * Gruppe	0,873
Gruppe	0,285

In einem einseitigen post-hoc t-Test für verbundene Stichproben zeigt sich eine statistisch hoch signifikante Verbesserung in der Placebogruppe zwischen der Prä- und Post-Messung mit $p = 0,01$ für den Parameter ERZ. Hierbei verbessern sich die Probanden um ca. 7 cm. Für die Kontroll- und Vibrationsgruppe zeigen sich Trends zur Verbesserung. Die Kontrollgruppe verringert ihr Schwankungsausmaß zwischen der Prä- und Post-Messung um ca. 4 cm ($p = 0,064$), die Vibrationsgruppe um ca. 5 cm ($p = 0,076$).

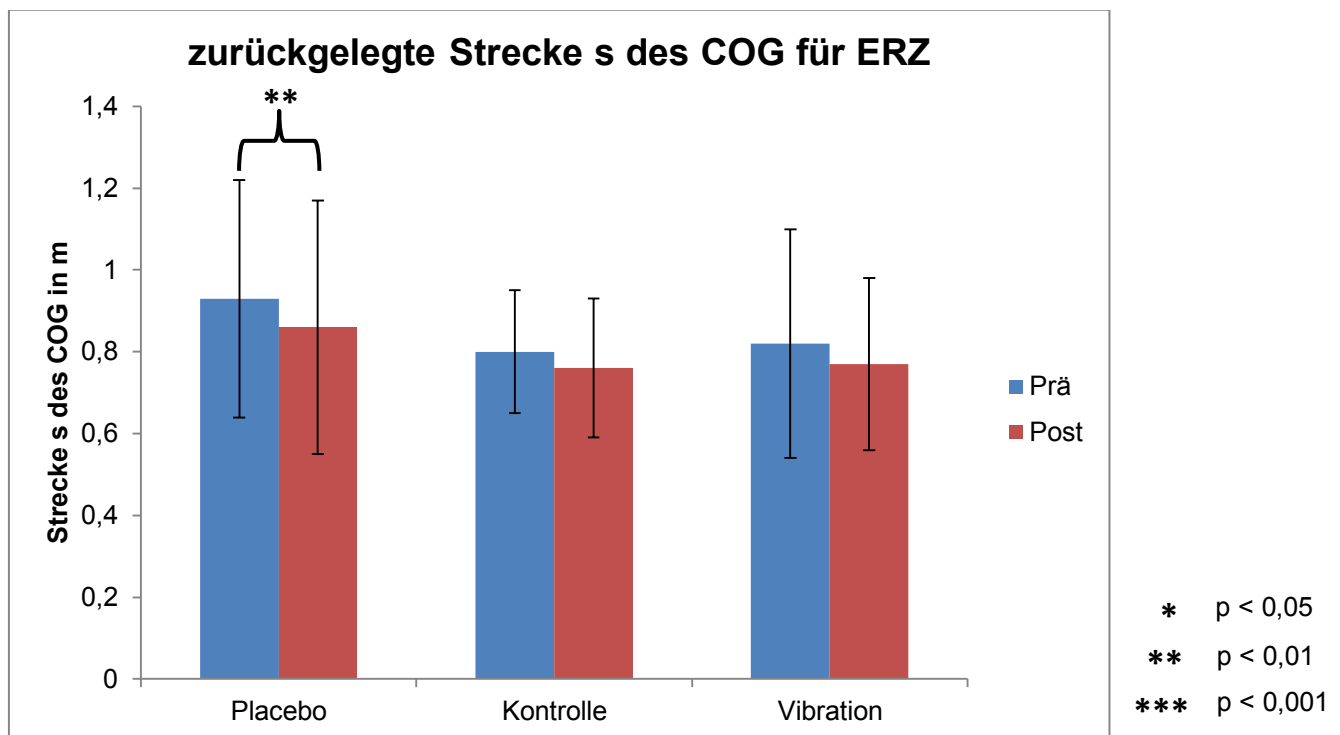


Abbildung 27: zurückgelegte Strecke s des COG für ERZ

5.3.3. Korrelationen

Zur Überprüfung eines Zusammenhangs zwischen den gewählten motorischen Aufgaben und den Aufmerksamkeitstests wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Durch die Erfassung der Gleichgewichtsfähigkeit über zwei verschiedene Aufgaben und der kognitiven Leistung über drei verschiedene Tests ergibt sich eine weitere Aufteilung der Korrelationshypothese.

H_{Ila}: Es besteht eine Korrelation zwischen dem EPA und d2-R, TMT bzw. FWIT bei gesunden, jungen, männlichen Probanden.

H_{Ilb}: Es besteht eine Korrelation zwischen dem ERZ und d2-R, TMT bzw. FWIT bei gesunden, jungen, männlichen Probanden.

Es zeigt sich nur ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Farbe-Wort-Interferenztest (FWIT) im Untertest Farbwörter benennen und der Gleichgewichtsaufgabe des Einbeinstand auf dem rechten Bein mit

geschlossenen Augen (ERZ) mit einer Korrelation nach Pearson von $r = -0,283$ ($p = 0,045$). Die weiteren Vergleiche zeigen nur einen niedrigen Zusammenhang. Die Korrelationswerte nach Pearson schwanken in einem Bereich von $-0,273$ bis $0,220$ (siehe Anhang).

5.3.4. Aufmerksamkeitstests

Durch die Erfassung der kognitiven Leistung über drei verschiedene Tests ergibt sich eine weitere Aufteilung der Hypothesen.

H_{IIIa}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden, die durch den d2-R erfasst wird.

H_{IIIb}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden, die durch den TMT erfasst wird.

H_{IIIc}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden, die durch den FWIT erfasst wird.

Bedingt durch eine hohe Schwankung der individuellen Leistung in den verschiedenen Aufmerksamkeitstests wurde eine individualisierte Auswertung vorgenommen. Hierbei wurde der Prä-Wert jedes einzelnen Probanden auf 100% gesetzt und der Post-Wert prozentual dazu berechnet. Die absoluten Werte befinden sich im Anhang.

5.3.4.1. Ergebnisse des d2-R zur Erfassung der konzentrierten und visuellen, selektiven Aufmerksamkeit

Bei der Auswertung des d2-R zur Erfassung der konzentrierten Aufmerksamkeit wiesen zwei Probanden (Nr. 47 und Nr. 56) der Vibrationsgruppe eine sehr hohe Anzahl an Auslassungsfehlern auf. Sie liegen mit 90 bzw. 102 Auslassungsfehlern im Prä-Test deutlich über der durchschnittlichen Fehleranzahl von 11,40 Fehlern. Auch im Post-Test zeigt sich ein ähnliches Bild. Hier haben die beiden 41 bzw. 89 Auslassungsfehler im Vergleich zur durchschnittlichen Anzahl von 8,53 Fehlern. Sie zeigen in den weiteren Aufmerksamkeitstests (FWIT und TMT) keine überhöhten Werte. Daher kann davon ausgegangen werden, dass der d2-R von diesen beiden Probanden missverstanden wurde. Für die Auswertung des d2-R wurden sie daher nicht berücksichtigt.

Infolge der Veränderung der Probandenanzahl wurde der vorher durchgeführte Vergleich der Gruppen in Bezug auf ihre anthropometrischen Daten und Ergebnisse in den verschiedenen Gruppenvergleichstests erneut durchgeführt. Die Auswertung gestaltete sich analog zu dem im Kapitel 5.3 beschriebenen Vorgehen. Auch bei der reduzierten Anzahl der Probanden zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den drei Versuchsgruppen in Bezug auf das Alter, das Gewicht, die Körpergröße und den Ergebnissen im LPS-4, TKS und BFI-10 (siehe Anhang).

Für BZO, KL und F% zeigt sich in der individualisierten Auswertung ein signifikanter Unterschied zwischen der Prä- und Post-Messung für die 58 ausgewerteten Probanden (siehe Tabelle 11). Hierbei ist die Testleistung in allen drei Parametern in der Post-Messung signifikant höher. Jedoch können keine Interaktions- (Zeitpunkte * Gruppe) oder Gruppeneffekte beobachtet werden (siehe Tabelle 10, Tabelle 11 und Anhang).

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Tabelle 10: Normalisierte d2-R Mittelwerte in % und Standardabweichungen individualisiert für 58 Probanden

	Placebo	Kontrolle	Vibration	Gesamt
BZO Post in %	113,3 ± 7,49	111,1 ± 10,4	111,6 ± 8,18	112,0 ± 8,68
KL Post in %	115,6 ± 8,29	114,78 ± 12,3	113,9 ± 8,68	114,8 ± 9,81
F% Post in %	86,0 ± 59,6	67,1 ± 46,4	76,1 ± 57,0	76,6 ± 54,2

Tabelle 11: Signifikanzwerte für d2-R

	BZO	KL	F%
Zeitpunkte	0,000	0,000	0,002
Zeitpunkte *			
Gruppe	0,725	0,869	0,561
Gruppe	0,725	0,869	0,561

5.3.4.2. Ergebnisse des TMT zur Erfassung der exekutiven Funktion

Die Auswertung des TMT zur Erfassung der exekutiven Funktion erfolgte über alle 60 Probanden für die benötigte Bearbeitungszeit. In der individualisierten Auswertung zeigt sich für beide Testteile eine statistisch signifikante Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten (siehe Tabelle 13). Bei Betrachtung der absoluten Werte zeigt sich eine Verbesserung zwischen der Prä- und Post-Messung im Testteil A um 4,9 s und im Testteil B um 10,19 s (siehe Anhang). Ein Interaktionseffekt (Zeitpunkt * Gruppe) und ein Unterschied zwischen den drei Versuchsgruppen war nicht vorhanden (siehe Tabelle 12, Tabelle 13 und Anhang).

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Tabelle 12: Normalisierte TMT Mittelwerte in % und Standardabweichungen individualisiert für 60 Probanden

	Placebo	Kontrolle	Vibration	Gesamt
TMT A Post in %	80,7 ± 18,8	79,4 ± 13,1	80,1 ± 25,5	80,1 ± 19,5
TMT B Post in %	82,9 ± 19,7	76,9 ± 20,8	88,5 ± 22,3	82,8 ± 21,1

Tabelle 13: Signifikanzwerte für TMT

	TMT Teil A Zeit	TMT Teil B Zeit
Zeitpunkte	0,000	0,000
Zeitpunkte * Gruppe	0,978	0,227
Gruppe	0,978	0,227

5.3.4.3. Ergebnisse des FWIT zur Erfassung der exekutiven Funktion und visuellen, selektiven Aufmerksamkeit

Die Auswertung des FWIT zur Erfassung der exekutiven Funktion erfolgte über alle 60 Probanden für die benötigte Bearbeitungszeit in den drei Subtests. In der individualisierten Auswertung zeigt sich eine statistisch signifikante Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten für alle Subtests. Ein Interaktionseffekt (Zeitpunkt * Gruppe) und Gruppeneffekt konnte in der individualisierten Auswertung nicht beobachtet werden (siehe Tabelle 15). Die absoluten Werte befinden sich im Anhang.

Tabelle 14: Normalisierte FWIT Mittelwerte in % und Standardabweichungen individualisiert für 58 Probanden

	Placebo	Kontrolle	Vibration	Gesamt
Wörter Post in %	97,1 ± 8,11	96,4 ± 8,54	98,6 ± 6,77	97,3 ± 7,76
Farbe Post in %	94,7 ± 8,57	95,6 ± 7,06	97,8 ± 6,57	96,0 ± 7,44
Interferenz Post in %	93,9 ± 6,38	93,9 ± 8,84	95,1 ± 7,60	94,3 ± 7,57

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Tabelle 15: Signifikanzwerte für FWIT

	Wörter Zeit	Farbe Zeit	Interferenz
Zeitpunkte	0,011	0,000	0,000
Zeitpunkte *			
Gruppe	0,669	0,393	0,854
Gruppe	0,669	0,393	0,854

5.4. Diskussion

5.4.1. Diskussion der Gleichgewichtsaufgaben

Die akuten Effekte eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit von jungen Probanden zeigen in der Literaturanalyse kein einheitliches Bild. So konnten in Abhängigkeit von der eingesetzten Frequenz und dem anschließenden Messzeitpunkt sowohl positive Effekte (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a), als auch keine Effekte beobachtet werden (Haas et al., 2004b; Pollock et al., 2011; Torvinen et al., 2002a) (siehe Kapitel 2.5.1). Die in dieser Studie eingesetzte Frequenz von 5 Hz und der gewählte Messzeitpunkt direkt nach dem Vibrationstreatment lassen nach der Literaturanalyse einen Effekt erwarten, da Haas et al. (2004b) mit 6 Hz und Torvinen et al. (2002a) nur in ihrer Messung zwei Minuten nach der Vibration eine Verbesserung beobachten konnten (siehe Tabelle 1). Andere Autoren verwendeten für ihre Studien höhere Frequenzen und konnten auch mit diesen teilweise einen positiven Effekt auf die Gleichgewichtsfähigkeit erreichen (Pollock et al., 2011; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a). Von einer Untersuchung der Langzeiteffekte eines Vibrationstrainings bei einem jungen Probandenkollektiv wurde abgesehen, da ein derartiger Effekt in unterschiedlichen Studien nicht nachweisbar war (siehe Tabelle 1).

Die Ergebnisse der zwei unterschiedlichen Gleichgewichtsaufgaben in der Prä-Messung zeigen, dass sich diese in ihrer Umsetzungsschwierigkeit unterscheiden.

Bei der Aufgabe mit geschlossenen Augen (ERZ) verlängert sich die Strecke des COG im Mittel um 32 cm im Vergleich zu der Gleichgewichtsaufgabe mit offenen Augen auf einer Airex Matte (EPA) (siehe Abbildung 25). Die Ergebnisse zeigen, dass die Gleichgewichtsaufgabe durch die Verwendung der Airex Matte weniger erschwert wird als durch das Ausschalten des visuellen Inputs. Zu diesem Ergebnis kommen auch Gill et al. (2001). Demnach stellt der visuelle Kanal einen den Mechanorezeptoren der Haut übergeordneten Informationskanal für die Gleichgewichtsregulation dar (Gill et al., 2001; Ludwig & Schmitt, 2006). Die Untersuchungsergebnisse der beiden Aufgaben korrelieren signifikant miteinander und lassen den Schluss zu, dass sie die gleiche Fähigkeit auf einem unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad abfragen.

Die Gleichgewichtsaufgabe EPA weist über den zeitlichen Verlauf der Prä- und Post-Messungen für die Auswertung von 48 Probanden eine signifikante Verbesserung über alle drei Untersuchungsgruppen auf. Ein Trend zur Veränderung zeigt sich in der Interaktion (Zeitpunkte * Gruppe) und kein Unterschied zwischen den Gruppen. Der sich anschließende, einseitige post-hoc t-Test für verbundene Stichproben weist in der Analyse der einzelnen Gruppen eine statistisch signifikante Veränderung zwischen der Prä- und Post-Messung mit $p = 0,001$ für die Vibrationsgruppe nach. Diese Veränderung bei der Vibrationsgruppe zeigt sich in einer Verringerung der zurückgelegten Strecke s des COG um 7 cm und eine damit einhergehende Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit. Für die Kontroll- und Placebogruppe ergeben sich keine signifikanten Veränderungen und auch kein Trend. Demnach kann man bei dieser Gleichgewichtsaufgabe davon ausgehen, dass die Verbesserung der Gleichgewichtsregulation in der Vibrationsgruppe nicht durch einen Lerneffekt verursacht wurde.

In der Literatur werden verschiedene Effekte eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsregulation diskutiert: eine neuromuskuläre Anpassung der Muskulatur der unteren Extremitäten und die damit einhergehende Verbesserung der muskulären Koordination (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a; Turbanski, 2006), eine Modifikation der kortikalen und subkortikalen

Aktivierungsmuster sowie eine Verschiebung der selektiven Aufmerksamkeit (Haas et al., 2004b; Turbanski, 2006) (siehe Kapitel 2.5.1). In dieser Studie wurde neben der Gleichgewichtsfähigkeit auch die Aufmerksamkeit durch verschiedene Tests erfasst. In diesen Tests konnte kein Effekt eines Vibrationstrainings mit 5 Hz auf die Aufmerksamkeitsleistung festgestellt werden (siehe Kapitel 5.4.2). Ebenfalls zeigt sich für die Gleichgewichtsaufgabe des Einbeinstand mit offenen Augen auf einer Airex Matte (EPA) kein Zusammenhang mit den Ergebnissen der unterschiedlichen Aufmerksamkeitstests. Die aufgestellte Hypothese, dass ein Vibrationstraining eine Verschiebung der selektiven Aufmerksamkeit hervorruft, muss nach diesen Ergebnissen für die Gleichgewichtsaufgabe EPA verworfen werden. Der Einfluss einer möglichen, neuromuskulären Anpassung der Muskulatur und eine damit verbundene Verbesserung der muskulären Koordination durch die Vibrationsbelastung wurde in dieser Studie nicht überprüft. Nach Bosco et al. (2000) und Haas & Schmidtbleicher (2002) führt die Vibrationseinwirkung zu einer Verringerung der EMG Aktivität in der antagonistischen Muskulatur. Die Ergebnisse in der Testaufgabe EPA lassen darauf schließen, dass dieser Effekt auch in der vorliegenden Studie vorliegen könnte.

Für die schwierigere Gleichgewichtsaufgabe mit geschlossenen Augen (ERZ) zeigt sich bei 51 Versuchspersonen ebenfalls eine signifikante Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten. Ein Interaktionseffekt oder ein Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht feststellbar. Der einseitige post-hoc t-Test für verbundene Stichproben weist für die Placebogruppe eine signifikante Verbesserung zwischen den Prä- und Post-Messungen nach, für die beiden anderen Untersuchungsgruppen zeigt sich ein Trend zur Verbesserung. Bei einer strenger gewählten Grenze für die Veränderung zwischen der Prä- und Post-Messung mit 20% Unterschied werden weitere 11 Probanden aus der Auswertung ausgeschlossen, für diese verbleibenden 40 Teilnehmer ergibt sich ebenfalls eine signifikante Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten. In einem einseitigen post-hoc t-Test für verbundene Stichproben zeigt sich hier für alle Gruppen jeweils ein Trend zur Verringerung des Schwankungsmaßes. Auf

Grundlage dieser Daten kann davon ausgegangen werden, dass für die Gleichgewichtsaufgabe ERZ ein Lerneffekt mit in die beobachtete Verbesserung einfließt, denn in dieser Messsituation ist der visuelle Kanal ausgeschaltet und der Körper ist auf die Informationen des somatosensorischen und vestibulären Systems angewiesen.

Zum somatosensorischen System zählen u.a. die Mechanorezeptoren der Haut und die Propriozeption (siehe Kapitel 2.5). Studien belegen, dass eine Vibration keinen Einfluss auf die propriozeptive Leistungsfähigkeit hat (Haas et al., 2007a; Hannah, Minshull & Folland, 2013), während hinsichtlich der Verbesserung der Fußsohlensensibilität keine eindeutigen Studienergebnisse vorliegen (Pollock et al., 2011; Schlee et al., 2012; Sonza et al., 2013) (siehe Kapitel 2.5.1). In diesen Studien unterscheiden sich jedoch die eingesetzten Frequenzen (27 Hz, 30 Hz und 42 Hz) deutlich von der hier verwendeten Vibrationsfrequenz (5 Hz), zudem wurden andere Gleichgewichtsaufgaben verwendet.

Schlee et al. (2012) verwendeten Aufgaben zur Erfassung der Gleichgewichtsfähigkeit mit geöffneten Augen. Der Einfluss einer reduzierten Fußsohlensensibilität nach einem Vibrationstreatment verändert die Ausführung einer Gleichgewichtsaufgabe mit geöffneten Augen nur geringfügig, da hierbei der visuelle Kanal die primären Informationen liefert (Gill et al., 2001) (siehe oben). Pollock et al. (2011) konnten keine Beeinflussung der Gleichgewichtsfähigkeit durch ein Vibrationstreatment aufzeigen, unabhängig von der gestellten Gleichgewichtsaufgabe (mit geöffneten oder geschlossenen Augen). Die Verbesserungen zwischen der Prä- und Post-Messung sind von der Größenordnung für alle drei Untersuchungsgruppen ähnlich, wobei nicht davon auszugehen ist, dass die Vibrationsfrequenz von 5 Hz einen Einfluss auf die Fußsohlensensibilität ausgeübt hat.

Die große Vielfaltigkeit der verwendeten Vibrationsparameter und Messbedingungen in den verschiedenen Studien zum Einfluss von Ganzkörpervibration auf den Menschen erschwert eine allgemeingültige Aussage zu den Effekten einer Vibrationseinwirkung. Im Vergleich zu anderen Studien, welche die Gleichgewichtsfähigkeit erfassten, wurden in dieser Studie eine

niedrige Frequenz und eine kurze zeitliche Dauer gewählt. Die Parameter orientierten sich an der ersten Studie des Dissertationsvorhabens zum Einfluss einer Vibrationswirkung auf die Handkoordination (siehe Kapitel 4). Somit können Vergleiche zwischen diesen beiden Studien angestellt werden. Darüber hinaus wurden in dieser Studie einheitliche Schuhe verwendet, um die durch das Schuhwerk induzierten Dämpfungseigenschaften für alle Probanden gleich zu gestalten (Marín et al., 2009).

In der hier vorgestellten Studie konnte ein positiver Effekt auf die Gleichgewichtsregulation gezeigt werden, obwohl der zeitliche Umfang in dieser Studie gegenüber den anderen Untersuchungen nur etwa halb so groß war (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a). Ebenfalls war die eingesetzte Frequenz in den anderen Studien höher. Nur die Studie von Haas et al. (2004b) kommt mit einer Vibrationsfrequenz von 6 Hz in den Bereich der Frequenz, die in dieser Studie eingesetzt wurde und beobachtete dabei ebenfalls eine positive Veränderung der Gleichgewichtsfähigkeit. Diskutiert wurden im Zusammenhang mit einer Veränderung der Gleichgewichtsfähigkeit eine Stimulation der Muskulatur der unteren Extremitäten (Torvinen et al., 2002a), eine Verbesserung der muskulären Koordination (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a; Turbanski, 2006), eine Modifizierung der kortikalen und subkortikalen Aktivierungsmuster und eine Verschiebung der selektiven Aufmerksamkeit (Haas et al., 2004b; Turbanski, 2006).

Eine Beeinflussung der neuromuskulären Eigenschaften sowie der Fußsohlensensibilität wurden in dieser Studie nicht untersucht. Von einer Beeinflussung der Sensibilität der Fußsohle kann jedoch aufgrund der geringen Vibrationsfrequenz eher abgesehen werden. Der Aspekt der Aufmerksamkeit wurde durch verschiedene Tests vor und nach dem Treatment erfasst. In den einzelnen Aufmerksamkeitstests konnten keine Effekte des Vibrationstreatments auf die Leistungen in den unterschiedlichen Tests beobachtet werden. Ebenso konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Testleistung in

den einzelnen Aufmerksamkeitstests und der Leistung in der Gleichgewichtsaufgabe EPA nachgewiesen werden.

Eine schwache signifikante Korrelation zeigte sich nur für die Ergebnisse des Farbe-Wort-Interferenztests (FWIT) im Untertest Farbwörter benennen und die Gleichgewichtsaufgabe des Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geschlossenen Augen (ERZ) (siehe Kapitel 5.3.3). Dieser Subtest kann dem Bereich der Informationsverarbeitung zugeordnet werden (Chang et al., 2012). Er dient als Grundlage für den eigentlichen Test zur Erfassung der Interferenz. Ein Zusammenhang zwischen der posturalen Kontrolle und der Aufmerksamkeit, wie sie Woollacott & Sumway-Cook (2002) feststellten, konnte demnach hier nicht aufgezeigt werden. Dies kann an den verwendeten Aufmerksamkeitstests liegen, welche die „Konzentrierte Aufmerksamkeit“ und exekutive Funktionen erfassen - vielleicht wird diese Art der Aufmerksamkeit für den Erhalt des Gleichgewichts nicht oder nur wenig benötigt. Die Wahl der Aufmerksamkeitstests wurden unter dem Gesichtspunkt der Erfassung der exekutiven Funktion vorgenommen, da eine Studie von Li et al. (2012) einen erhöhten Sauerstoffbedarf im präfrontalen Cortex nach einer Vibrationseinwirkung feststellen konnten und dieser Bereich eng mit der exekutiven Funktion verbunden ist (Cabeza & Nyberg, 2000; Piek et al., 2004) (siehe Kapitel 2.3.3).

Eine verbesserte, muskuläre Koordination kann nicht ausgeschlossen werden (Haas et al., 2004b; Schlee et al., 2012; Torvinen et al., 2002a; Turbanski, 2006),

die eingangs aufgestellte Hypothese

H_{1a}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Gleichgewichtsfähigkeit von gesunden, jungen, männlichen Probanden im Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geöffneten Augen auf einer Airex-Matte (EPA).

kann bestätigt werden. Es zeigt sich eine signifikante Verbesserung in dieser Gleichgewichtsaufgabe.

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Die zweite Hypothese

H_{Ib}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die Gleichgewichtsfähigkeit von gesunden, jungen, männlichen Probanden im Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geschlossenen Augen (ERZ).

kann nach diesen Ergebnissen nicht bestätigt werden. Es zeigte sich in allen Untersuchungsgruppen ein Trend bzw. eine signifikante Verbesserung für die Placebogruppe. Die drei Untersuchungsgruppen unterscheiden sich in ihrer Gleichgewichtsfähigkeit nicht signifikant voneinander.

Die erste Forschungsfrage

F₁: Verbessert eine sinusförmige Ganzkörpervibration mit 5 Hz auf einem Qionic Classic Board die Gleichgewichtsfähigkeit von gesunden, jungen, männlichen Probanden?

muss nach diesen Ergebnissen aufgespalten werden. Eine sinusförmige Ganzkörpervibration mit 5 Hz verbessert unter den gewählten Vibrationsparametern und Aufgaben die Gleichgewichtsfähigkeit im Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geöffneten Augen auf einer Airex Matte (EPA). In der zweiten Aufgabe ERZ ist ebenfalls keine signifikante Verbesserung zu erkennen.

Ebenso können die Hypothesen in Bezug auf einen Zusammenhang zwischen der Aufmerksamkeit und der Gleichgewichtsfähigkeit

H_{Ila}: Es besteht eine Korrelation zwischen dem EPA und d2-R, TMT bzw. FWIT bei gesunden, jungen, männlichen Probanden.

H_{Ilb}: Es besteht eine Korrelation zwischen dem ERZ und d2-R, TMT bzw. FWIT bei gesunden, jungen, männlichen Probanden.

verworfen werden, obwohl eine schwache Korrelation zwischen dem Subtest Farbwörter benennen des FWIT und der Gleichgewichtsaufgabe ERZ besteht, da dieser Test des FWIT die kognitive Grundfunktion des Benennens und weniger die Aufmerksamkeit erfasst.

Die zweite Forschungsfrage

F₂: Besteht ein Zusammenhang zwischen der kognitiven Leistung und der Gleichgewichtsfähigkeit bei gesunden, jungen, männlichen Probanden?

kann mit einem *nein* beantwortet werden. Es zeigte sich keine Korrelation zwischen den eingesetzten Gleichgewichtsaufgaben und Aufmerksamkeitstests.

5.4.2. Diskussion der Aufmerksamkeitstest

Unabhängig von der Untersuchungsgruppe zeigt sich in allen eingesetzten Aufmerksamkeitstests eine signifikante Verbesserung zwischen den beiden Messzeitpunkten. Diese Verbesserung kann unter anderem auf einen Übungseffekt zurückgeführt werden, der sich bereits in anderen Studien gezeigt hat (Bäumler, 1985; Fessler, Stibbe & Haberer, 2008) und daher auch erwartet wurde. Um eine Abgrenzung zwischen Übungs- und Treatmenteffekten zu ermöglichen, wurden neben der Vibrationsgruppe zwei weitere Untersuchungsgruppen in dieses Studiendesign eingebunden und die Zeitspanne zwischen der Prä- und Post-Messung für alle Probanden standardisiert.

Eine Verbesserung der exekutiven Funktion, die durch den TMT und FWIT erfasst wird, konnte nach einer Vibrationseinwirkung von 5 Hz auf einem Qionic Classic Board nicht gezeigt werden. Daher bleibt auch fraglich, ob diese Art des Vibrationstreatments eine erhöhte Aktivität im präfrontalen Cortex hervorruft, wie sie Li et al. (2012) bei einer Frequenz von 4,5 Hz bzw. 6 Hz feststellen konnten (siehe Kapitel 2.3.3).

Ein negativer Effekt der Vibrationseinwirkung auf die kognitive Leistung, wie er in der Arbeitswissenschaft während (Harris & Shoenberger, 1980; Sherwood & Griffin, 1990, 1992) oder nach einer Vibrationseinwirkung (Ljungberg & Neely, 2007a, 2007b) gezeigt werden konnte, war hier nicht zu beobachten (siehe Kapitel 2.6.1). Daher kann eine zunehmende Ermüdung (Jiao et al., 2004) durch ein 2-minütiges Vibrationstraining eher ausgeschlossen werden, da sich eine erhöhte Müdigkeit in einer reduzierten Leistung in den kognitiven Aufgaben widerspiegeln würde (Grandjean, 1979).

Die Such- und Erinnerungsaufgabe in der Studie von Ljungberg & Neely (2007a) ist vergleichbar mit dem d2-R. Im Unterschied zum d2-R variieren die Zielvariablen in diesem Test in jeder Zeile, gleichwohl werden die Fehler, die Anzahl der bearbeiteten Buchstaben und die Genauigkeit erfasst. Hierbei konnte eine signifikante Leistungsver schlechterung in der Genauigkeit beobachtet werden. Die Probanden bearbeiteten zwar mehr Buchstaben, jedoch ging diese Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit auf Kosten der Genauigkeit (Ljungberg & Neely, 2007a). Diese Verschlechterung in der Genauigkeit bzw. Sorgfalt der Testbearbeitung konnte in dieser durchgeführten Studie nicht beobachtet werden, denn die Probanden verbesserten sich in diesem Parameter unabhängig von dem dazwischengeschalteten Treatment. Die zeitliche Dauer des Vibrationsreizes variiert jedoch deutlich zwischen diesen beiden Studien. So wirkte bei Ljungberg & Neely (2007a) der Vibrationsreiz 44 Minuten ein, wohingegen in dieser Studie der Vibrationsreiz auf 2 Minuten beschränkt war. Daher kann der zeitliche Unterschied in der Dauer der Vibrationsexposition zu diesen unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben.

Nach Chang et al. (2012) besteht ein positiver Effekt einer einzelnen Bewegungsaufgabe auf die kognitive Leistung. Andere Studien konnten keinen positiven Effekt von Bewegung auf die kognitive Leistung nachweisen (Fessler, Stibbe & Haberer, 2008). Chang et al. (2012) stellen heraus, dass dieser positive Effekt auf die kognitive Leistung während der Bewegungsaufgabe, direkt im Anschluss an diese und nach einer kurzen Pause feststellbar ist. Die positiven

Effekte auf die kognitiven Leistungen zeigten sich deutlicher bei sportlichen Probanden und bei einer physischen Aktivität von mehr als 20 Minuten (Chang et al., 2012).

In der hier vorgestellten Studie nahmen nur gesunde, sportliche, männliche Probanden teil. Daher kann von einem sportlichen Probandenkollektiv ausgegangen werden. Jedoch war in der hier durchgeführten Studie die physische Belastungsdauer während des Treatments geringer als 20 Minuten. Ebenfalls wurde die Aufwärmung auf dem Fahrradergometer vor der Prä-Messung und der Post-Messung durchgeführt, um einen reinen muskulären Erwärmungseffekt durch das Vibrationstreatment auszuschließen.

Chang et al. (2012) stellen heraus, dass keine signifikanten Unterschiede in der Prä- und Post-Messung der kognitiven Leistung mit zwischengeschalteter Bewegungsaufgabe vorlagen, wenn das Kollektiv nur aus Frauen oder Männern bestand. Demgegenüber zeigen andere Studien einen Unterschied in der Testleistung zwischen den Geschlechtern bei kognitiven Aufgaben (Arbuthnott & Frank, 2000; Herlitz et al., 1997; Mekarski et al., 1996). Um geschlechtsspezifischen Unterschieden in der Testleistung vorzubeugen, nahmen nur männliche Probanden an der Studie teil.

Die Wahl des Probandenkollektivs kann einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Durch die Eingrenzung auf gesunde, sportliche, männliche Teilnehmer wurde eine enge Wahl des Versuchspersonenkollektivs vorgenommen. Ebenso kann vermutet werden, dass die Vibration keinen additiven Effekt zu der vorher durchgeführten Aufwärmung auf dem Fahrradergometer hervorruft, wobei nach Kerschan-Schindl et al. (2001) eine Steigerung des Blutvolumens während einer Vibrationseinwirkung in der Beinmuskulatur zu beobachten ist. Die Studie war jedoch auf die Untersuchung der Beinmuskulatur beschränkt. Darüber hinaus wurde eine andere Frequenz (26 Hz) eingesetzt und die Vibrationsdauer war mit 9 Minuten 4,75-mal länger als der Vibrationsreiz in dieser Studie. Desgleichen verwendeten Ljungberg & Neely (2007a) eine deutlich länger andauernde Vibrationsbelastung und gestalteten diese auch mehrdimensional. Ähnlich wie stochastische Schwingungen kann der Proband diese nicht antizipieren (Haas et al., 2006a; Haas & Schmidbleicher, 2002; Haas et al., 2006b; Turbanski et al.,

2005) und sie führen dadurch eher zu einer Überwindung der Reizschwelle (Haas & Schmidtleicher, 2002; Haas et al., 2006b) (siehe Kapitel 2.2.1).

Über diese Überlegungen hinaus ist es möglich, dass eine Verschiebung der Aufmerksamkeit durch ein kurzfristiges Vibrationstreatment hervorgerufen wurde, jedoch mit den verwendeten Aufmerksamkeitstests nicht erfasst werden konnte.

Die eingangs aufgestellten Hypothesen

H_{IIIa}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden, die durch den d2-R erfasst wird.

H_{IIIb}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden, die durch den TMT erfasst wird.

H_{IIIc}: Ein sinusförmiges Vibrationstreatment mit 5 Hz beeinflusst die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden, die durch den FWIT erfasst wird.

können demnach verworfen werden.

Die dritte Forschungsfrage

F₃: Beeinflusst eine sinusförmige Ganzkörpervibration mit 5 Hz auf einem Qionic Classic Board die kognitive Leistung von gesunden, jungen, männlichen Probanden?

kann nach diesen Ergebnissen für die kognitiven Leistungen, die über den d2-R, TMT und FWIT erfasst werden, mit einem *nein* beantwortete werden.

5.4.3. Kritische Auseinandersetzung mit der Studie

Durch den Einsatz einer Kontroll- und Placebogruppe können Lern- und Placeboeffekte mit evaluiert werden.

Veränderungen der muskulären Aktivität und der Sensorik wurden in dieser Studie nicht erfasst und können daher nicht überprüft werden. Gerade für die Gleichgewichtsmessung wären diese zusätzlichen Informationen interessant gewesen, um weitere Erklärungsansätze diskutieren zu können. Jedoch lag der Fokus dieser Arbeit auf einer anderen Hypothese: dem Zusammenhang von Aufmerksamkeit und Gleichgewichtsregulation. Dieser sollte durch den Einsatz von verschiedenen Aufmerksamkeitstests überprüft werden. Es konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen der kognitiven und motorischen Messung festgestellt werden. Nach diesem Ergebnis bleibt es daher fraglich, inwieweit die kognitiven Fähigkeiten, die durch die einzelnen Tests abgefragt wurden, einen Einfluss auf die Gleichgewichtsfähigkeit haben und ob ein Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Gleichgewichtsfähigkeit besteht.

5.5. Schlussfolgerungen

In dieser zweiten Studie des Dissertationsvorhabens konnte ein Effekt eines kurzzeitigen Vibrationstreatments mit 5 Hz in der Gleichgewichtsaufgabe mit offenen Augen nachgewiesen werden. Hierbei zeigte sich für die Vibrationsgruppe nach dem Treatment mit 5 Hz eine signifikant bessere Testleistung. Keine Beeinflussung wurde bei der Leistung in den verschiedenen Aufmerksamkeitstests oder der Gleichgewichtsfähigkeit mit geschlossenen Augen nachgewiesen. Es liegen nur wenige Studien hinsichtlich einer veränderten Aufmerksamkeit nach einer Vibrationsbelastung vor, auch Studien aus der Arbeitswissenschaft beschäftigen sich primär mit der Veränderung der Aufmerksamkeit während einer Vibrationsbelastung und sind daher schwer mit diesen Ergebnissen konkret in Zusammenhang zu bringen. Der Fokus der Sportwissenschaftler liegt vorrangig auf der Beeinflussung der sportlichen Leistung durch eine Vibrationsbelastung, wie z.B. der Kraftfähigkeit der unteren Extremitäten oder der Gleichgewichtsfähigkeit. Eine Untersuchung hinsichtlich der Beeinflussung der

Studie 2: Zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Aufmerksamkeit ist vorher nicht durchgeführt worden, daher liegen kaum Vergleichswerte für den Einfluss einer Vibrationseinwirkung auf die Aufmerksamkeit vor.

Die Frage nach einer Beeinflussung der Aufmerksamkeit durch ein Vibrationstreatment konnte in dieser Studie nicht abschließend geklärt werden. Die Testleistung der Probanden in den hier verwendeten Tests, die einerseits die „Konzentrierte Aufmerksamkeit“ (d2-R) und die exekutiven Funktionen (FWIT und TMT) abfragten, wurde durch ein Vibrationstreatment nicht beeinflusst. Aufgrund der Fülle von einflussnehmenden Vibrationsparametern (Dauer, Frequenz und Amplitude) und den verwendeten Übungen auf der Vibrationsplattform bleibt es fraglich, ob ein anders ausgeführtes Vibrationstreatment eine Veränderung in den Testleistungen hervorrufen kann oder ob durch die Auswahl anderer Aufmerksamkeitstests ein Effekt auch unter den hier verwendeten Vibrationsparametern aufgezeigt werden könnte.

In Bezug auf die Gleichgewichtsmessungen existieren bereits Studien, die jedoch aufgrund der verschiedenen, verwendeten Vibrationsparameter nur bedingt als Vergleichsdatenbasis herangezogen werden können. Einige Studien können positive Effekte aufzeigen und andere keine Effekte. Fraglich bleibt daher weiterhin, welchen Einfluss die einzelnen Vibrationsparameter auf die Gleichgewichtsfähigkeit haben und welche Effekte im menschlichen Körper ausgelöst werden. Weitere Grundlagenstudien sind notwendig, um den komplexen Zusammenhang zwischen den vielen verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten eines Vibrationstreatments vollständig zu erfassen und zu bewerten.

6. Fazit und Ausblick

In diesem Dissertationsvorhaben konnte nachgewiesen werden, dass ein kurzfristiges Vibrationstreatment mit 5 Hz und 25 Hz bei einem gesunden, jungen Probandenkollektiv zu einer Verbesserung der Handkoordination führt. Durch die Gestaltung des Untersuchungsdesigns konnten in dieser Studie Lerneffekte oder eine Placebowirkung nicht gänzlich verworfen werden, jedoch wird die Beeinflussung als sehr gering eingeschätzt.

In der sitzenden Messsituation kann eine Beeinflussung der Handkoordination auf sensorischer und peripherenervaler Ebene ausgeschlossen werden (Haas & Schmidtbleicher, 2002; Haas et al., 2006b). Für die Interpretation der Ergebnisse in der Messsituation Einbeinstand wird dieser Erklärungsansatz wieder relevant.

Die Verbesserungen nach einem 5 Hz Treatment in der sitzenden Messsituation können verschiedenen Ursachen zugrunde liegen, hierzu zählen Veränderungen der Neurotransmitterkonzentration im Cerebrum, wie sie auch in tierexperimentellen Untersuchungen nachgewiesen werden konnten (Nakamura et al., 1992), eine Reduktion des physiologischen Tremors oder eine optimierte Selektion der afferenten Signale und eine damit einhergehende Verschiebung der Aufmerksamkeit auf bestimmte Reize (Ashton-Miller et al., 2001).

Nach der 25 Hz Bedingung zeigten sich ebenfalls Verbesserungen in der Handkoordination. Fraglich bleibt hierbei jedoch, ob diese Effekte durch Veränderungen auf zentraler Ebene zu erklären sind, da in der Literatur keine Effekte durch die Frequenz in diesem Bereich aufzeigt werden.

In der zweiten Messsituation, dem Einbeinstand, wurde eine Doppelaufgabe durchgeführt. Im Prä-Inter- 5 Hz Vergleich zeigten sich hier ebenfalls signifikante Verbesserungen. Diese Steigerung der Handkoordinationsleistung kann durch die vorher besprochenen Effekten des Vibrationstreatments in sitzender Position entstanden sein und/oder durch eine Verbesserung der Gleichgewichtsregulation nach dem Vibrationstreatment. Das Gleichgewicht kann durch sensorische oder peripherenervale Effekte (Haas & Schmidtbleicher, 2002; Haas et al., 2006b) oder auch durch eine muskuläre Veränderung in den unteren Extremitäten beeinflusst worden sein.

Nach Woollacott & Shumway-Cook (2002) ist die Gleichgewichtsregulation von der Aufmerksamkeit abhängig. Demzufolge kann es möglich sein, dass bei einem Einbeinstand nach einer Vibrationseinwirkung mit 5 Hz die Aufmerksamkeitsprozesse verändert sind und dadurch eine erhöhte Leistung in der posturalen Kontrolle erreicht wird.

Nach der 25 Hz Bedingung zeigte sich ebenfalls eine Verbesserung. Eine Veränderung der Sensorik kann nach diesem Treatment eher ausgeschlossen werden (Pollock et al., 2011; Schlee et al., 2012; Sonza et al., 2013). Eine verbesserte, muskuläre Koordination (Schlee et al., 2012) und eine Veränderung der Muskelsteifigkeit (Cardinale & Bosco, 2003) sind denkbar.

Durch die Wahl der Messsituation blieb unklar, welche Komponenten (Einbeinstand und Handkoordination) in der ausgeführten Doppelaufgabe zur Verbesserung beitragen, diesen Fragen sollte in einer zweiten Studie nachgegangen werden. Durch die Implementation einer Kontroll- und Placebogruppe können Lerneffekte und eine mögliche Placebowirkung mit erfasst werden.

Um den Einfluss des Einbeinstands in der Doppelaufgabe bei der Erfassung der Handkoordination zu ermitteln, wurde in dieser Studie die Gleichgewichtsfähigkeit im Einbeinstand registriert. Aufgrund der größeren Effekte nach einer Vibrationsbelastung mit einer Frequenz von 5 Hz wurde in der Folgestudie nur noch mit dieser kleineren Frequenz gearbeitet. Des Weiteren sollte ein möglicher Erklärungsansatz bezüglich der Verbesserung der Handkoordination genauer betrachtet werden, der sich auf die Verschiebung der selektiven Aufmerksamkeit bezieht. Die Aufmerksamkeit wurde durch verschiedene Aufmerksamkeitstests nach einem Treatment erfasst. In dieser Studie konnten keine Effekte des ausgewählten Vibrationstreatments auf die Aufmerksamkeit beobachtet werden.

In der Gleichgewichtsaufgabe auf einer Airex Matte im Einbeinstand mit offenen Augen zeigte sich für die Vibrationsgruppe eine signifikante Verbesserung zwischen der Prä- und Post-Messung. In der anderen Gleichgewichtsaufgabe war dies nicht zu erkennen. Die Doppelaufgabe bei der Messung der Handkoordination im Einbeinstand wurde mit geöffneten Augen durchgeführt;

daher kann davon ausgegangen werden, dass in dieser Messsituation auch durch eine Steigerung der Gleichgewichtsfähigkeit die Testleistung verbessert wurde.

Der Erklärungsansatz und die daraus abgeleitete Hypothese, dass durch eine Vibrationseinwirkung die Aufmerksamkeit beeinflusst wird, konnte in der zweiten Studie nicht gezeigt werden. Dies kann zum einen an den verwendeten Aufmerksamkeitstests gelegen haben, zum anderen an den verwendeten Vibrationsparametern. Das genaue Ausmaß der Effekte einer Vibration auf den menschlichen Körper bleibt daher weiterhin ungeklärt.

Durch die vielen verschiedenen Einflussfaktoren, die sich durch die Art der Vibration (Frequenz, Amplitude), die zeitliche Dauer und die durchgeführten Übungen bedingen, ist es schwierig eine übergreifende Aussage zu einem Vibrationstreatment zu formulieren. Um die vielen verschiedenen Parameter isoliert betrachten zu können, werden weiterhin Studien nötig sein, die die Grundlagen eines Vibrationstreatments erfassen. Hierdurch könnten einzelne Einflussfaktoren bestimmt werden.

Bezogen auf anschließende Studien ist es weiterhin schwierig, unterschiedliche Vibrationsparameter isoliert voneinander zu betrachten, da diese durch die grundlegende Gerätebauweise und durch deren Einstellungsmöglichkeiten bedingt sind.

7. Zusammenfassung

Ganzkörpervibrationsgeräte sind im heutigen Sport- und Gesundheitssektor weit verbreitet und werden immer häufiger auch in der Rehabilitation eingesetzt. Die Erkenntnis, dass Vibrationen einen positiven Einfluss auf den menschlichen Körper ausüben können, ist relativ neu (Rittweger, 2010), wohingegen negative Effekte in der Arbeitswissenschaft seit den 1960er Jahren bekannt sind (Costa et al., 2012). Sportwissenschaftliche Untersuchungen fokussieren sich auf die Effekte einer Vibrationswirkung auf die Kraftfähigkeit der unteren Extremitäten. In Studien mit Parkinson-Patienten konnten nach einer Ganzkörpervibration akute Verbesserungen der koordinativen Fähigkeiten und eine deutliche Reduktion des Tremors festgestellt werden (Haas & Schmidtbleicher, 2002). Fraglich ist, ob diese Effekte auch auf ein gesundes Probandenkollektiv übertragbar sind.

In einer ersten empirischen Studie wurde dieser Fragestellung nachgegangen. 40 Sportstudenten der Universität Duisburg-Essen nahmen an dieser Cross-over Studie teil. An zwei Messtagen erfolgte zunächst eine 5-minütige Aufwärmung auf einem Fahrradergometer. Anschließend führten die Probanden einen Test zur Erfassung der Handkoordination aus. Dabei sollten sie mit einem Laserpointer ein Ziel in 10 Meter Entfernung anvisieren. Die Bewegung des Pointers wurde mit Hilfe einer Kamera aufgenommen und später mit einem Computerprogramm die Bewegung des Laserpunktes ausgewertet. Die Messung erfolgte dreimal in sitzender und dreimal in stehender Position auf einem Bein (Prä).

Im Anschluss wurde eine 2-minütige Ganzkörpervibration mit 5 Hz und einer Wiederholung der Handkoordinationsmessung durchgeführt (Inter). Danach erfolgte ein zweites 2-minütiges Vibrationstreatment mit 25 Hz und darauf folgender Messung der Handkoordination (Post). Die Reihenfolge der Frequenzen wurde zwischen den beiden Testtagen getauscht und über die Probanden randomisiert. Der aufsummierte Weg und der aufsummierte Abstand vom Nullpunkt der Laserprojektion wurde für 15 Sekunden erfasst und statistisch ausgewertet.

Eine Verbesserung der Testleistung konnte für dieses gesunde Probandenkollektiv gezeigt werden. Nach einer Vibrationseinwirkung mit 5 Hz reduzierte sich sowohl die aufsummierte Wegstrecke und der aufsummierte

Abstand vom Nullpunkt in beiden Messsituation (sitzend und Einbeinstand). Nach dem Treatment mit 25 Hz zeigten sich für die aufsummierte, zurückgelegte Strecke in beiden Messsituationen eine Verbesserung der Handkoordinationsaufgabe. Für den aufsummierten Abstand vom Nullpunkt zeigte sich nur im Einbeinstand ein positiver Effekt.

Hinsichtlich des Vergleichs mit der Studie von Haas & Schmidtbleicher (2002), kann davon ausgegangen werden, dass ein Vibrationstreatment in einem Frequenzbereich von 5 Hz bei Parkinson-Patienten sowie bei gesunden Probanden zu einer Verbesserung der motorischen Auge-Handkoordination führt.

Da sich die Veränderungen in den oberen Extremitäten bemerkbar gemacht haben, das Vibrationstreatment aber über die unteren Extremitäten appliziert wurde, muss die Auswirkung der Vibrationsbelastung über die Beeinflussung der Muskulatur hinausgehen. Denkbar sind in diesem Zusammenhang Veränderungen der Neurotransmitterkonzentration im Cerebrum, wie sie auch in tierexperimentellen Untersuchungen gezeigt werden konnten (Nakamura et al., 1992), eine Reduktion des physiologischen Tremors oder eine optimierte Selektion der afferenten Signale und die damit einhergehende Verschiebung der Aufmerksamkeit auf bestimmte Reize (Ashton-Miller et al., 2001).

Nach der 25 Hz Bedingung zeigten sich ebenfalls Verbesserungen in der Handkoordination. Fraglich bleibt hier, ob diese Effekte durch Veränderungen auf zentraler Ebene zu erklären sind. Durch die Wahl des Studiendesigns kann nicht abschließend geklärt werden, ob diese Verbesserungen durch Lerneffekte oder eine Placebowirkung zustande gekommen sind. In der ausgeführten Doppelaufgabe bleibt unklar, welche Komponenten (Einbeinstand oder Handkoordination) maßgeblich zur Verbesserung beigetragen haben.

Diesen Fragen wurde in einer weiteren Studie nachgegangen, die die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit untersucht. An dieser Parallelstudie im Doppelblind Prä-Post Design nahmen 60 männliche Probanden teil. Das Probandenkollektiv setzte sich aus männlichen Teilnehmern zusammen, da Studien belegen, dass sich die kognitiven Leistungen von Frauen und Männern unterscheiden (Arbuthnott & Frank, 2000; Herlitz et al., 1997; Mekarski et al., 1996). Die Erfassung von Lern- und Placeboeffekten erfolgte über die

Implementation einer Kontroll- und Placebogruppe. Die Übungen auf der Vibrationsplatte gestalteten sich in der Kontroll- und Vibrationsgruppe identisch und, um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, erfolgten sie in Anlehnung an die Studie zur Handkoordination. Bei der Vibrationsgruppe wurde eine Frequenz von 5 Hz eingestellt und für die Kontrollgruppe war das Gerät ausgeschaltet. Damit die Probanden die Einstellungen an der Vibrationsplatte nicht sehen konnten, war das Bedingungspanel von ihnen abgewendet. Die Placebogruppe erhielt eine vegetarische Leerkapsel.

Zu Beginn der Untersuchung führten die Probanden wieder eine 5-minütige Aufwärmung auf einem Fahrradergometer aus. Direkt im Anschluss wurde die Gleichgewichtsmessung mit zwei unterschiedlichen Aufgaben im Einbeinstand und die Erfassung der Aufmerksamkeit durch drei Tests durchgeführt. Danach erfolgte wieder eine Aufwärmung sowie im Anschluss daran das Treatment. Hiernach fand die Post-Messung der Gleichgewichtsfähigkeit und der Aufmerksamkeit statt. Aus Reliabilitätsgründen sollen zwischen den Prä- und Post-Messungen der Aufmerksamkeit eine konstante Zeitspanne für alle Probanden liegen. Dies wurde durch eine zwischengeschaltete Aufgabe realisiert. Auch führten die Probanden in dieser Zeit einen Test zur Beschreibung ihrer Persönlichkeit und zum kognitiven Schätzen durch.

In der Studie konnten keine positiven Effekte des ausgewählten Vibrationstreatments auf die Aufmerksamkeit und die Gleichgewichtsfähigkeit mit geschlossenen Augen beobachtet werden. Bei der Gleichgewichtsaufgabe mit geöffneten Augen auf einer Airex Matte zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit zwischen den beiden Messzeitpunkten.

Der Erklärungsansatz und die daraus abgeleitete Hypothese, dass durch ein Vibrationstreatment die Aufmerksamkeit beeinflusst wird, konnte in dieser Studie nicht verifiziert werden. Dies könnte an den verwendeten Vibrationsparametern oder den verwendeten Aufmerksamkeitstests gelegen haben. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Verbesserung in der Handkoordination bei der Ausführung der Doppelaufgabe nach einer Vibrationsbelastung mit 5 Hz nicht allein durch eine Veränderung in den oberen Extremitäten entstanden ist, sondern auch Effekte auf die Gleichgewichtsregulation mit eingeflossen sind. Ob ein Vibrationsreiz mit

25 Hz zu einer Verbesserung der Gleichgewichtsregulation bei der Ausführung der Doppelaufgabe in der Untersuchung zur Handkoordination beigetragen hat, kann durch die zweite Studie nicht geklärt werden.

Durch die vielen unterschiedlichen Vibrationsparameter und Reaktionen des menschlichen Körpers ist es schwierig, eine übergreifende Aussage bezüglich der Effekte auf den menschlichen Körper zu formulieren.

Zur Klärung der unterschiedlichen Einflüsse einer Vibrationsbelastung auf den menschlichen Körper sind weitere Grundlagenstudien notwendig.

Literaturverzeichnis

- Abbate, C., Micali, E., Giorgianni, C., Munaò, F., Brecciaroli, R., Salmaso, L. et al. (2004). Affective correlates of occupational exposure to whole-body vibration. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 73 (6), 375–379.
- Alizad, A., Walch, M., Greenleaf, J. F. & Fatemi, M. (2006). Vibrational characteristics of bone fracture and fracture repair: Application to excised rat femur. *Journal of biomechanical engineering*, 128 (3), 300–308.
- Arbuthnott, K. & Frank, J. (2000). Trail Making Test, Part B as a Measure of Executive Control: Validation Using a Set-Switching Paradigm. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22 (4), 518–528.
- Ariizumi, M. & Okada, A. (1985). Effects of whole body vibration on biogenic amines in rat brain. *British Journal of Industrial Medicine*, 42, 133–136.
- Ashton-Miller, J., Wojtys, E., Huston, L. & Fry-Welch, D. (2001). Can proprioception really be improved by exercises? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9 (3), 128–136.
- Bain, P. (1993). A combined clinical and neurophysiological approach to the study of patients with tremor. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 56 (8), 839–844.
- Bäumler, G. (1985). *Farbe-Wort-Interferenztest nach J.R. Stroop. Handanweisung*. Göttingen u.a: Verl. für Psychologie Hogrefe.
- Bautmans, I., van Hees, E., Lemper, J.-C. & Mets, T. (2005). The feasibility of whole body vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial. *BMC Geriatrics*, 5 (17).
- Bensmaia, S. J., Leung, Y. Y., Hsiao, S. S. & Johnson, K. O. (2005). Vibratory adaptation of cutaneous mechanoreceptive afferents. *Journal of Neurophysiology*, 94 (5), 3023–3036.
- Berger, U., Rockenbach, K., Brand, M., Kalbe, E. & Kessler, J. (2004). Test zum kognitiven Schätzen (TKS). *Diagnostica*, 50 (4), 221–223.
- Bertuzzi, R., Pasqua, L. A., Bueno, S., Damasceno, M. V., Lima-Silva, A. E., Bishop, D. et al. (2013). Strength-training with whole-body vibration in long-distance runners: a randomized trial. *International journal of sports medicine*, 34 (10), 917–923.
- Beutler, M. (2007). *Handbuch Vibrationstraining. Grundlagen - Wirkungsweisen - Trainingssteuerung*. Leipzig: Draksal.
- Bogaerts, A., Delecluse, C., Boonen, S., Claessens, A. L., Milisen, K. & Verschueren, S. M. (2011). Changes in balance, functional performance and fall risk following whole body vibration training and vitamin D supplementation in institutionalized elderly women. A 6 month randomized controlled trial. *Gait & Posture*, 33 (3), 466–472.
- Bogaerts, A., Verschueren, S., Delecluse, C., Claessens, A. L. & Boonen, S. (2007). Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: A 1 year randomized controlled trial. *Gait & Posture*, 26, 309–316.

- Bonhomme, V., Fiset, P., Meuret, P., Backmann, S., Plourde, G., Paus, T. et al. (2001). Propofol anesthesia and cerebral blood flow changes elicited by vibrotactile stimulation: A positron emission tomography study. *J. Neurophysiol.*, 85, 1299–1308.
- Bosco, C., Colli, R., Cardinale, M., Tsarpela, O. & Bonifazi, M. (1999). The effect of whole body vibration on mechanical behaviour of skeletal muscle and hormonal profile. In G. R. Lyritis (Hrsg.), *Musculo skeletal interactions: basic and clinical aspects* (S. 67–76). Athen: Hylonome Editions.
- Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi, J. et al. (2000). Hormonal response to whole-body vibration in men. *European Journal of Applied Physiology*, 81, 449–454.
- Bowie, C. R. & Harvey, P. D. (2006). Administration and interpretation of the Trail Making Test. *Nature Protocols*, 1 (5), 2277–2281.
- Brand, M., Kalbe, E. & Kessler, J. (2002). *Test zum kognitiven Schätzen. TKS ; Manual*. Göttingen: Beltz Test.
- Bredthauer, W., Bruns, K. G., Dorn, H.-J., Grote, M., Hannibal, L., Renner, M. et al. (2007). *Impulse Physik* (Neubearb., 1. Aufl.). Stuttgart [u.a.]: Klett.
- Brickenkamp, R. (2002). *d2 - Aufmerksamkeits-Belastungs-Test*. Göttingen: Hogrefe.
- Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L. & Liepmann, D. (2010). *d2-Revision. Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest*. Göttingen: Hogrefe.
- Brown, M. C., Engberg, I. & Matthews, P. B. (1967). The relative sensitivity to vibration of muscle receptors of the cat. *J. Physiol.*, 192, 773–800.
- Bruyere, O., Wuidart, M.-A., Di Palma, E., Gourlay, M., Ethgen, O., Richy, F. et al. (2005). Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86 (2), 303–307.
- Buchanan, J. J. & Horak, F. B. (1999). Emergence of postural patterns as a function of vision and translation frequency. *Journal of Neurophysiology*, 81, 2325–2339.
- Burke, D., Hagbarth, K.-E., Löfstedt, L. & Wallin, B. G. (1976). The responses of human muscle spindle endings to vibration of non-contracting muscles. *J. Physiol.*, 261, 673–693.
- Burkhardt, A. (2006). Vibrationstraining in der Physiotherapie. Wippen mit Wirkung. *physiopraxis*, 9, S. 22–25.
- Cabeza, R. & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET und fMRI studies. *Journal of cognitive neuroscience*, 12 (1), 1–47.
- Cardinale, M. & Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31 (1), 3–7.
- Cardinale, M., Leiper, J., Erskine, J., Milroy, M. & Bell, S. (2006). The acute effects of different whole body vibration amplitudes in the endocrine system of young healthy men: a preliminary study. *Clin Physiol & Func Im*, 26 (6), 380–384.
- Cardinale, M. & Rittweger, J. (2006). Vibration exercise makes your muscles and bones stronger: fact or fiction? *Journal of the British Menopause Society*, 12 (1), 12–18.

- Carlucci, F., Mazzà, C. & Cappozzo, A. (2010). Does whole-body vibration training have acute residual effects on postural control ability of elderly women? *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 24 (12), 3363–3368.
- CASIO COMPUTER CO., LTD. *EX-F1. Bedienungsanleitung*. Zugriff am 10.09.2013. Verfügbar unter http://support.casio.com/de/manual/001/EXF1_MF_FD_DE.pdf
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I. & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101.
- Chen, C.-H., Liu, C., Chuang, L.-R., Chung, P.-H. & Shiang, T.-Y. (2014). Chronic effects of whole-body vibration on jumping performance and body balance using different frequencies and amplitudes with identical acceleration load. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17 (1), 107–112.
- Cheung, W.-H., Mok, H.-W., Qin, L., Sze, P.-C., Lee, K.-M. & Leung, K.-S. (2007). High-frequency whole-body vibration improves balancing ability in elderly women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88 (7), 852–857.
- Cordo, P., Gurfinkel, V. S., Bevan, L. & Kerr, G. K. (1995). Proprioceptive consequences of tendon vibration during movement. *Journal of Neurophysiology*, 74 (4), 1675–1688.
- Costa, N., Arezes, P. M. & Melo, R. B. (2012). Effects of vibration exposure on professional drivers: a field test for quantifying visual and cognitive performance. *Work*, 41, 3039–3042.
- Couteau, B., Hobatho, M.-C., Darmana, R., Brignola, J.-C. & Arlaud, J.-Y. (1998). Finite element modelling of the vibrational behaviour of the human femur using CT-based individualized geometrical and material properties. *Journal of Biomechanics*, 31 (4), 383–386.
- de Gail, P., Lance, J. W. & Neilson, P. D. (1966). Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 29 (1), 1–11.
- de Marées, H. & Heck, H. (2006). *Sportphysiologie* (korr. Nachdr. d. 9., vollst. überarb. und erw. Aufl). Köln: Sportverl. Strauß.
- de Ruiter, C. J., van Raak, S. M., Schilperoort, J. V., Hollander, A. P. & de Haan, A. (2003). The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 595–600.
- Delecluse, C., Roelants, M. & Verschueren, S. (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35 (6), 1033–1041.
- Deuschl, G., Raethjen, J. & Köster, B. (2005). Tremor. In A. O. Ceballos-Baumann & M. Abele (Hrsg.), *Bewegungsstörungen. 120 Tabellen* (2., aktualisierte und erw. Aufl, S. 255–286). Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- Di Giminiani, R., Masedu, F., Tihanyi, J., Scrimaglio, R. & Valenti, M. (2013). The interaction between body position and vibration frequency on acute response to whole body vibration. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23 (1), 245–251.

- Edmonds, C. J. & Jeffes, B. (2009). Does having a drink help you think? 6–7-Year-old children show improvements in cognitive performance from baseline to test after having a drink of water. *Appetite*, 53 (3), 469–472.
- Eklund, G. & Hagbarth, K.-E. (1966). Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Experimental Neurology*, 16, 80–92.
- Elble, R. J. (1996). Central mechanisms of tremor. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 13 (2), 133–144.
- Emery, C. A., Cassidy, J. D., Klassen, T. P., Rosychuk, R. J. & Rowe, B. H. (2005). Development of a clinical static and dynamic standing balance measurement tool appropriate for use in adolescents. *Physical Therapy*, 85 (6), 502–514.
- Erskine, J., Smillie, I., Leiper, J., Ball, D. & Cardinale, M. (2007). Neuromuscular and hormonal responses to a single session of whole body vibration exercise in healthy young men. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 27 (4), 242–248.
- Eysel, U. (2011). Sehen und Augenbewegungen. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie ; mit 85 Tabellen ; mit herausnehmbarem Repetitorium* (Springer-Lehrbuch, 31., überarb. und aktualisierte Aufl). Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Falkensteiner, G., Heger-Binder, G., Kartusch, B., Marold, A. & Swoboda, G. (2006). Aufmerksamkeitsstörungen. In J. Lehrner, G. Pusswald, E. Fertl, W. Strubreither & I. Kryspin-Exner (Hrsg.), *Klinische Neuropsychologie. Grundlagen - Diagnostik - Rehabilitation* (S. 419–430). Springer Verlag.
- Fessler, N., Stibbe, G. & Haberer, E. (2008). Besser Lernen durch Bewegung? Ergebnisse einer empirischen Studie in Hauptschulen. *sportunterricht*, 57 (8), 250–255.
- Findley, L. J. (1996). Classification of Tremors. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 13 (2), 122–132.
- Fratini, A., Bifulco, P., Romano, M., Clemente, F. & Cesarelli, M. (2014). Simulation of surface EMG for the analysis of muscle activity during whole body vibratory stimulation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113 (1), 314–322.
- Friesenbichler, B., Nigg, B. M. & Dunn, J. F. (2013). Local metabolic rate during whole body vibration. *Journal of Applied Physiology*, 114 (10), 1421–1425.
- Games, K. E. & Sefton, J. M. (2013). Whole-body vibration influences lower extremity circulatory and neurological function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23 (4), 516–523.
- Ghez, C. & Gordon, J. (1996). Einführung in die Motorik. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessell (Hrsg.), *Neurowissenschaften. Eine Einführung* (S. 499–511). Heidelberg: Spektrum.
- Gill, J., Allum, J. H. J., Carpenter, M. G., Held-Zilkowska, M., Adkin, A. L., Honegger, F. et al. (2001). Trunk sway measures of postural stability during clinical balance tests: Effects of age. *Journal of Gerontology*, 56 (7), M438-M447.
- Golaszewski, S. M., Siedentopf, C. M., Koppelstaetter, F., Fend, M., Ischebeck, A., Gonzalez-Felipe, V. et al. (2006). Human brain structures related to plantar vibrotactile

- stimulation: A functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage*, 29 (3), 923–929.
- Grandjean, E. (1979). Fatigue in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 36, 175–186.
- Grehn, J. (1991). *Metzler Physik* (2., durchges. Aufl.). Stuttgart: Metzler.
- Griffin, M. J. (1994). *Handbook of human vibration* (2. Auflage). London: Academic Press.
- Haas, C. T., Buhlmann, A., Turbanski, S. & Schmidtbleicher, D. (2006a). Proprioceptive and sensorimotor performance in Parkinson's disease. *Research in Sports Medicine - an International Journal*, 4, 273–287.
- Haas, C. T. & Schmidtbleicher, D. (2002). Zu den Effekten mechanischer Schwingungsreize bei Morbus Parkinson. *Rheuma Aktuell*, 3, 8–10.
- Haas, C. T., Schulze-Cleven, K., Turbanski, S. & Schmidtbleicher, D. (2007a). Zur Interaktion koordinativer und propriozeptiver Leistungen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (1), 19–24.
- Haas, C. T., Turbanski, S., Kaiser, I. & Schmidtbleicher, D. (2004a). Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (2), 34–43.
- Haas, C. T., Turbanski, S., Kessler, K. & Schmidtbleicher, D. (2006b). The effects of random whole-body vibration on motor symptoms in Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation*, 21 (1), 29–36.
- Haas, C. T., Turbanski, S., Markitz, S., Kaiser, I. & Schmidtbleicher, D. (2006c). Stochastische Resonanz in der Therapie von Bewegungsstörungen. *Bewegungstherapie und Gesundheitssport*, 22, 58–61.
- Haas, C. T., Turbanski, S. & Schmidtbleicher, D. (2004b). Neural and mechanical rhythms in rehabilitative balance training. *Isokinetics and Exercise Science*, 54–55.
- Haas, C. T., Turbanski, S. & Schmidtbleicher, D. (2007b). Vibrationstraining in der Rehabilitation von Gang- und Gleichgewichtsstörungen. *focus neurogeriatrie*, 3, 18–19.
- Haas, C. T. (2008). Vibrationstraining, Biomechanische Stimulation und Stochastische Resonanz Therapie. Eine interdisziplinäre Betrachtung präventiver und rehabilitativer Funktionen. *Zeitschrift für Physiotherapeuten*, 60 (7), 728–789.
- Hagbarth, K.-E. & Eklund, G. (1966). Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity. *Brain Research*, 2, 201–203.
- Hänggi, P. (2001). Stochastische Resonanz. Rauschen macht sensibel. *Physikalische Blätter*, 57 (1), 15–16.
- Hannah, R., Minshull, C. & Folland, J. P. (2013). Whole-body vibration does not influence knee joint neuromuscular function or proprioception. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23 (1), 96–104.
- Harrington, G. S. & Downs III, J. H. (2001). fMRI mapping of the somatosensory cortex with vibratory stimuli: Is there a dependency on stimulus frequency? *Brain Research*, 897, 188–192.

- Harris, C. S. & Shoenberger, R. W. (1966). Effects of frequency of vibration on human performance. *Journal of Engineering Psychology*, 5 (1).
- Harris, C. S. & Shoenberger, R. W. (1980). Combined effects of broadband noise and complex waveform vibration on cognitive performance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 51 (1), 1–5.
- Heckmann, M. & Dudel, J. (2011). Synaptische Übertragung. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie ; mit 85 Tabellen ; mit herausnehmbarem Repetitorium* (Springer-Lehrbuch, 31., überarb. und aktualisierte Aufl, S. 76–97). Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Herlitz, A., Nilsson, L.-G. & Bäckman, L. (1997). Gender differences in episodic memory. *Memory & Cognition*, 25 (6), 801–811.
- Hömmе, A.-K., Hennig, E. M., Müller, C. & Ninck, C. (2012). The influence of two unstable shoe modifications on lower extremity kinetics during walking and postural balance in elderly men. *Footwear Science*, 4 (2), 83–91.
- Hömmе, A.-K. (2014). *Der Einfluss der Nutzung eines neuartigen Instabilitätsschuhs auf die Gleichgewichtsfähigkeit für eine Sturzprophylaxe im Alter. Eine biomechanische Interventionsstudie*. Dissertation, Universität Duisburg-Essen. Essen. Zugriff am 24.06.2014. Verfügbar unter <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServlet?id=34931>
- Horak, F. B. (1987). Clinical measurement of postural control in adults. *Physical Therapy*, 67 (12), 1881–1885.
- Horn, W. (1983). *Leistungsprüfsystem* (2., erw. u. verb. Aufl). Göttingen: Hogrefe.
- Jiao, K., Li, Z., Chen, M., Wang, C. & Qi, S. (2004). Effect of different vibration frequencies on heart rate variability and driving fatigue in healthy drivers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 77 (3), 205–212.
- Kapsel-Handel. Zugriff am 05.09.2013. Verfügbar unter http://www.ebay.de/itm/120988377822?ssPageName=STRK:MEWAX:IT&_trk%20sid%20=p3984.m1423.l2649
- Kawanabe, K., Kawashima, A., Sashimoto, I., Takeda, T., Sato, Y. & Iwamoto, J. (2007). Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *Keio J Med*, 56 (1), 28–33.
- Kerschan-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V. et al. (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 21 (3), 377–382.
- Kersting, T. (2004) VIANA [Computer software]. Verfügbar unter <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/viana/>
- Kistler Instrumente AG. *Betriebs- und Serviceanleitung. Mehrkomponenten-Messplattform mit Glas-Deckelplatte*. Type 9285.
- Kjellberg, A. (1990). Psychological aspects of occupational vibration. *Scand J Work Environ Health*, 16 (1), 39–43.
- Kleinöder, H. & Mester, J. (2003). Sicherheit und Leistungsoptimierung im Vibrationstraining. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch*

- 2003 (S. 253–258). Bonn: BISp. Zugriff am 02.12.2013. Zugriff am 02.12.2013.
Verfügbar unter
http://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Jahrbuch/Jb_2003_Artikel/Kleinoeder_Mester.pdf?__blob=publicationFile
- Klyszcz, T. (2000). *Stellenwert physikalischer Therapieverfahren bei chronischer Veneninsuffizienz (CVI) und arthrogenem Stauungssyndrom*. Köln: Viavital-Verlag.
- Kubo, M., Terauchi, F., Aoki, H. & Matsuoka, Y. (2001). An investigation into a synthetic vibration model for humans: An investigation into a mechanical vibration human model constructed according to the relations between the physical, psychological and physiological reactions of human exposed to vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27, 219–232.
- Kvorning, T., Bagger, M., Caserotti, P. & Madsen, K. (2006). Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *European Journal of Applied Physiology*, 96 (5), 615–625.
- Lehmann-Horn, F. (2011). Motorische Systeme. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie ; mit 85 Tabellen ; mit herausnehmbarem Repetitorium* (Springer-Lehrbuch, 31., überarb. und aktualisierte Aufl). Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Li, Z., Zhang, M., Li, J., Xin, Q., Chen, G., Li, J. et al. (2012). Spectral analysis of cerebral oxygenation responses to seated whole-body vibration in healthy men. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42 (4), 341–346.
- Ljungberg, J., Neely, G. & Lundström, R. (2004). Cognitive performance and subjective experience during combined exposures to whole-body vibration and noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 77 (3), 217–221.
- Ljungberg, J. K. & Neely, G. (2007a). Cognitive after-effects of Vibration and Noise exposure and the role of subjective Noise sensitivity. *Journal of Occupational Health*, 49, 111–116.
- Ljungberg, J. K. & Neely, G. (2007b). Stress, subjective experience and cognitive performance during exposure to noise and vibration. *Journal of Environmental Psychology*, 27, 44–54.
- Lorenzen, C., Maschette, W., Koh, M. & Wilson, C. (2009). Inconsistent use of terminology in whole body vibration exercise research. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12 (6), 676–678.
- Ludwig, O. & Schmitt, E. (2006). Neurokybernetik der Körperhaltung. *Sonderdruck aus Haltung und Bewegung*, 26 (1), 5–14.
- Magnusson, M., Enbom, H., Johansson, R. & Pyykkö, I. (1990). Significance of pressor input from the human feet in anterior-posterior postural control. *Acta Otolaryngol*, 110, 182–188.
- Mahieu, N. N., Witvrouw, E., Van de Voorde, D., Michilsens, D., Arbyn, V. & Van den Broecke, W. (2006). Improving strength and postural control in young skiers: Whole-body vibration versus equivalent resistance training. *Journal of Athletic Training*, 41 (3), 286–293.

- Marín, P. J., Bunker, D., Rhea, M. R. & Ayllón, F. N. (2009). Neuromuscular activity during whole-body vibration of different amplitudes and footwear conditions: Implications for prescription of vibratory stimulation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (8), 2311–2316.
- Markworth, P. (2003). *Sportmedizin. Physiologische Grundlagen* (rororo rororo-Sport, Bd. 17049, Orig.-Ausg., 17. Aufl). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl.
- Marsden, C. D. (1984). Origins of normal and pathological tremor. In L. J. Findley & R. Capildeo (Hrsg.), *Movement disorders: tremor* (S. 37–84). London: Macmillan Press.
- Martin, B. J. & Park, H.-S. (1997). Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *European Journal of Applied Physiology*, 75, 504–511.
- McIlroy, W. E., Norrie, R. G., Brooke, J. D., Bishop, D. C., Nelson, A. J. & Maki, B. E. (1999). Temporal properties of attention sharing consequent to disturbed balance. *Neuroreport*, 10, 2895–2899.
- Mekarski, J. E., Cutmore, T. R. & Suboski, W. (1996). Gender differences during processing of the Stroop task. *Perceptual and Motor Skills*, 83, 563–568.
- Mester, J., Kleinöder, H. & Yue, Z. (2006). Vibration training: benefits and risks. *Journal of Biomechanics*, 39 (6), 1056–1065.
- Monno, A., Temprado, J.-J., Zanone, P.-G. & Laurent, M. (2002). The interplay of attention and bimanual coordination dynamics. *Acta Psychologica*, 110, 187–211.
- Nakamura, H., Moroji, T., Nohara, S., Nakamura, H. & Okada, A. (1992). Activation of cerebral dopaminergic systems by noise and whole-body vibration. *Environmental Research*, 57, 10–18.
- Norrie, R. G., Maki, B. E., Staines, W. R. & McIlroy, W. E. (2002). The time course of attention shifts following perturbation of upright stance. *Experimental Brain Research*, 146 (3), 315–321.
- Ouchi, Y., Okada, H., Yoshikawa, E., Nobezawa, S. & Futatsubashi, M. (1999). Brain activation during maintenance of standing postures in humans. *Brain*, 122, 329–338.
- Pellegrini, B., Faes, L., Nollo, G. & Schena, F. (2004). Quantifying the contribution of arm postural tremor to the outcome of goal-directed pointing task by displacement measures. *Journal of Neuroscience Methods*, 139 (2), 185–193.
- Piek, J. P., Dyck, M. J., Nieman, A., Anderson, M., Hay, D., Smith, L. M. et al. (2004). The relationship between motor coordination, executive functioning and attention in school aged children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19 (8), 1063–1076.
- Pollock, R. D., Provan, S., Martin, F. C. & Di Newham, J. (2011). The effects of whole body vibration on balance, joint position sense and cutaneous sensation. *European Journal of Applied Physiology*, 111 (12), 3069–3077.
- Qionic GmbH. (2010) Benutzerhandbuch. In *Gewerbliche Schulungsmappe* (S. 1–18).
- Rammstedt, B. & John, O. P. (2007). Measuring personality in one minute or less: A 10-item short version of the Big Five Inventory in English and German. *Journal of Research in Personality*, 41 (1), 203–212.

- Rauch, F., Sievanen, H., Boonen, S., Cardinale, M., Degens, H., Felsenberg, D. et al. (2010). Reporting whole-body vibration intervention studies: Recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions*, 10 (3), 193–198.
- Rauchfleisch, U. (1994). *Testpsychologie. Eine Einführung in die Psychodiagnostik* (UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher Sozialwissenschaften, Psychologie, Bd. 1063, 3., völlig neu bearb. Aufl.). Göttingen [u.a.]: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Rittweger, J. (2010). Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *European Journal of Applied Physiology*, 108 (5), 877–904.
- Roelants, M., Delecluse, C., Goris, M. & Verschueren, S. (2004). Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med*, 25, 1–5.
- Roll, R., Kavounoudias, A. & Rolle, J.-P. (2002). Cutaneous afferents from human plantar sole contribute to body posture awareness. *Neuroreport*, 13 (15), 1957–1961.
- Schellig, D., Drechsler, R., Heinemann, D. & Sturm, W. (Hrsg.). (2009). *Handbuch neuropsychologischer Testverfahren. Band 1: Aufmerksamkeit, Gedächtnis und exekutive Funktionen*. Göttingen: Hogrefe.
- Schlee, G. & Milani, T. L. (2012). Long term whole body vibration training has no effects on plantar foot sensitivity and balance control. In J. Burns & F. Pourkazemi (Hrsg.) 3rd Congress of the International Foot and Ankle biomechanics (i-FAB) Community. *Journal of Foot and Ankle research*. 5 (1) [Themenheft].
- Schlee, G., Reckmann, D. & Milani, T. L. (2012). Whole body vibration training reduces plantar foot sensitivity but improves balance control of healthy subjects. *Neuroscience Letters*, 506 (1), 70–73.
- Schmidt-Atzert, L. (2004). Test d2: Aufmerksamkeits-Belastungs-Test. In G. Büttner & L. Schmidt-Atzert (Hrsg.), *Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit* (Tests und Trends, Bd.3, 1. Aufl, S. 87–101). Göttingen [etc.]: Hogrefe.
- Schmidt-Atzert, L., Büttner Gerhard & Bühner, M. (2004). Theoretische Aspekte von Aufmerksamkeits-/Konzentrationsdiagnostik. In G. Büttner & L. Schmidt-Atzert (Hrsg.), *Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit* (Tests und Trends, Bd.3, 1. Aufl, S. 3–22). Göttingen [etc.]: Hogrefe.
- Schmidt-Atzert, L. (2011). *d2-R*. Zugriff am 23.08.2013. Verfügbar unter <http://www.testzentrale.de/programm/media/downloads/0141301/0141301.pdf>
- Schmidt-Atzert, L. & Amelang, M. (2012). *Psychologische Diagnostik* (Springer-Lehrbuch5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schmidt-Atzert, L., Krumm, S. & Bühner, M. (2008). Aufmerksamkeitsdiagnostik. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 19 (2), 59–82.
- Sherwood, N. & Griffin, M. J. (1990). Effects of whole-body vibration on short-term memory. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 61, 1092–1097.
- Sherwood, N. & Griffin, M. J. (1992). Evidence of impaired learning during whole-body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 152 (2), 219–225.

- Siebert, D. & Espig, N. (2013). Der Einfluss von Schwankungen des Gesamtsystems Sportler-Waffe auf Laufmündungsbewegungen im Anschlag Stehend im Biathlonschießen. In T. L. Milani & C. Maiwald (Hrsg.), *Abstractband, Neue Ansätze in der Bewegungsforschung. Tagung der dvs Sektion Biomechanik* (S. 19).
- Sonza, A., Maurer, C., Achaval, M., Zaro, M. A. & Nigg, B. M. (2013). Human cutaneous sensors on the sole of the foot: Altered sensitivity and recovery time after whole body vibration. *Neuroscience Letters*, 533, 81–85.
- Speckmann, E.-J. & Wittkowski, W. (1994). *Bau und Funktionen des menschlichen Körpers. Praxisorientierte Anatomie und Physiologie* (18., völlig neu bearbeitete Aufl). München: Urban & Schwarzenberg.
- Steyvers, M., Verschueren, S., Levin, O., Ouamer, M. & Swinnen, S. (2001). Proprioceptive control of cyclical bimanual forearm movements across different movement frequencies as revealed by means of tendon vibration. *Experimental Brain Research*, 140 (3), 326–334.
- Stolzenberg, N., Belavý, D. L., Rawer, R. & Felsenberg, D. (2013). Whole-body vibration versus proprioceptive training on postural control in post-menopausal osteopenic women. *Gait & Posture*, 38 (3), 416–420.
- Taube, W., Gollhofer, A. & Gruber, M. (2009). Posturales Gleichgewicht. In A. Gollhofer (Hrsg.), *Handbuch Sportbiomechanik* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 171). Schorndorf: Hofmann.
- Tombaugh, T. (2004). Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19 (2), 203–214.
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievänen, H., Järvinen, T. A. H., Pasanen, M., Kontulainen, S. et al. (2002a). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol & Func Im*, 22, 145–152.
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievänen, H., Järvinen, T. A. H., Pasanen, M., Kontulainen, S. et al. (2002b). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34 (9), 1523–1528.
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievänen, H., Järvinen, T. A. H., Pasanen, M., Kontulainen, S. et al. (2003). Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: A randomized controlled study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 18 (5), 876–884.
- Treede, R.-D. (2011). Das somatosensorische System. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie ; mit 85 Tabellen ; mit herausnehmbarem Repetitorium* (Springer-Lehrbuch, 31., überarb. und aktualisierte Aufl, S. 272–297). Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Turbanski, S., Haas, C. T., Friedrich, A., Duisberg, P. & Schmidtbleicher, D. (2005). Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Research in Sports Medicine - an International Journal*, 3, 243–256.
- Turbanski, S. (2006). *Zur posturalen Kontrolle bei Morbus Parkinson - Biomechanische Diagnose und Training*. Dissertation, Johann Wolfgang Goethe-Universität. Frankfurt/Main. Zugriff am 16.12.2013. Verfügbar unter <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/2877>

- Verschueren, S. M., Swinnen, S. P., Cordo, P. J. & Dounskaia, N. V. (1999a). Proprioceptive control of multijoint movement: unimanual circle drawing. *Exp Brain Res*, 127, 171–181.
- Verschueren, S. M., Swinnen, S. P., Cordo, P. J. & Dounskaia, N. V. (1999b). Proprioceptive control of multijoint movement: bimanual circle drawing. *Exp Brain Res*, 127, 182–192.
- Völkel, N. & Hennig, E. M. (2012). Whole-body vibration improves the accuracy of motor performance. *J. Sport Medicine & Doping Studies*. Verfügbar unter <http://www.omicsonline.org/whole-body-vibration-improves-the-accuracy-of-motor-performance-2161-0673.S7-001.pdf>
- Wick, D. (2009). Mechanische Grundlagen und Gesetz von Bewegung des Menschen. Gleichgewicht und Standfestigkeit. In D. Wick (Hrsg.), *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegungen* (2., überarb. und erw. Aufl.). Balingen: Spitta.
- Wickens, C. D. & Gropper, D. (1977). Control theory measures of tracking as indices of attention allocation strategies. *Human Factors*, 19 (4), 349–365.
- Woollacott, M. & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait and Posture*, 16, 1–14.
- Wu, X., Rakheja, S. & Boileau, P.-É. (1998). Study of human-seat interface pressure distribution under vertical vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 21, 433–449.
- Yamada, E., Kusaka, T., Miyamoto, K., Tanaka, S., Morita, S., Tanaka, S. et al. (2005). Vastus lateralis oxygenation and blood volume measured by near-infrared spectroscopy during whole body vibration. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 25, 203–208.
- Zenner, H.-P. (2011). Der Gleichgewichtssinn und die Bewegungs- und Lageempfindung des Menschen. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie ; mit 85 Tabellen ; mit herausnehmbarem Repetitorium* (Springer-Lehrbuch, 31., überarb. und aktualisierte Aufl, S. 336–344). Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.

Anhang

Studie zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Handkoordination

Ergebnisse der sitzenden Messposition - Zurückgelegte Strecke in m (ZS)

Tabelle 16: ZS in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz

	Prä	Inter – 5 Hz	Post – 25Hz
Mittelwert	3,3	3,07	2,93
Standardabweichung	0,81	0,8	0,8

Signifikanzen

Prä vs. 5 Hz → $p = 0,000$

Prä vs. 25 Hz → $p = 0,000$

5 Hz vs. 25 Hz → $p = 0,000$

Tabelle 17: ZS in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz

	Prä	Inter – 25 Hz	Post – 5Hz
Mittelwert	3,27	3,13	3,06
Standardabweichung	0,76	0,67	0,82

Signifikanzen

Prä vs. 25 Hz → $p = 0,033$

Prä vs. 5 Hz → $p = 0,021$

25 Hz vs. 5 Hz → $p = 0,272$ (n.s.)

Ergebnisse der sitzenden Messposition - Absoluter Abstand vom Nullpunkt in m (AvN)

Tabelle 18: AvN in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz

	Prä	Inter – 5 Hz	Post – 25Hz
Mittelwert	8,18	7,71	7,61
Standardabweichung	1,7	1,5	1,74

Signifikanzen

Prä vs. 5 Hz	→ p = 0,05	
Prä vs. 25 Hz	→ p = 0,03	
5 Hz vs. 25 Hz	→ p = 0,48	(n.s.)

Tabelle 19: AvN in sitzender Position, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz

	Prä	Inter – 25 Hz	Post – 5Hz
Mittelwert	7,94	8,05	7,87
Standardabweichung	1,55	1,65	1,82

Signifikanzen

Prä vs. 25 Hz	→ p = 0,522	(n.s.)
Prä vs. 5 Hz	→ p = 0,690	(n.s.)
25 Hz vs. 5 Hz	→ p = 0,273	(n.s.)

Ergebnisse der Messposition Einbeinstand - Zurückgelegte Strecke in m (ZS)

Tabelle 20: ZS im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz

	Prä	Inter – 5 Hz	Post – 25Hz
Mittelwert	5,52	5,12	5,09
Standardabweichung	1,3	1,13	1,05

Signifikanzen

Prä vs. 5 Hz	→ p = 0,000	
Prä vs. 25 Hz	→ p = 0,008	
5 Hz vs. 25 Hz	→ p = 0,791	(n.s.)

Tabelle 21: ZS im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz

	Prä	Inter – 25 Hz	Post – 5Hz
Mittelwert	5,69	5,15	4,95
Standardabweichung	1,28	1,11	1,15

Signifikanzen

Prä vs. 25 Hz	→ p = 0,000
Prä vs. 5 Hz	→ p = 0,000
25 Hz vs. 5 Hz	→ p = 0,006

Ergebnisse der Messposition Einbeinstand - Absoluter Abstand vom Nullpunkt in m (AvN)

Reihenfolge Prä - 5 Hz – 25 Hz

Tabelle 22: AvN im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 5 Hz – 25 Hz

	Prä	Inter – 5 Hz	Post – 25Hz
Mittelwert	15,28	14,49	14,63
Standardabweichung	3,29	3,14	3,31

Signifikanzen

Prä vs. 5 Hz	→ p = 0,002	
Prä vs. 25 Hz	→ p = 0,135	(n.s.)
5 Hz vs. 25 Hz	→ p = 0,721	(n.s.)

Tabelle 23: AvN im Einbeinstand, Treatmentreihenfolge 25 Hz – 5 Hz

	Prä	Inter – 25 Hz	Post – 5Hz
Mittelwert	15,4	14,82	14,44
Standardabweichung	2,93	2,83	3,15

Signifikanzen

Prä vs. 25 Hz	→ p = 0,010	
Prä vs. 5 Hz	→ p = 0,000	
25 Hz vs. 5 Hz	→ p = 0,120	(n.s.)

Studie zum Einfluss eines Vibrationstreatments auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit



Fachbereich Bildungswissenschaften
Sport - und Bewegungswissenschaften

Biomechanik Labor

Nina Völkel

Gladbecker Straße 182, Raum 0.20

45141 Essen

Telefon (02 01) 1 83 - 7350

Fax (02 01) 1 83 - 7309

E-Mail: nina.voelkel@uni-due.de

Probandeninformation zur Studie

„Der akute Einfluss unterschiedlicher Behandlungen auf die kognitive und motorische Leistung von jungen Männern“

Sehr geehrte Teilnehmer,

wir freuen uns sehr über Ihr Interesse an dieser Studie teilzunehmen.

Wir suchen für diese Untersuchung junge männliche Probanden in einem Alter von 20-35 Jahren. Bedingt durch die Ablauf und die Organisation der Studie können wir lediglich Probanden mit einer Schuhgröße 43, 45 und 46 EUR zur Studie zulassen. Auch dürfen keine ernsthaften Erkrankungen vorliegen. In einem persönlichen Eingangsgespräch vor Beginn der Untersuchung wird im Einzelnen abgeklärt, ob mögliche Erkrankungen vorliegen, die eine Teilnahme an der Studie ausschließen.

Falls bei Ihnen keine Ausschlusskriterien vorliegen, würden wir uns freuen Sie als Teilnehmer dieser Studie begrüßen zu dürfen!

In dieser Studie sollen 60 Teilnehmern auf die akuten Einflüsse von drei unterschiedlichen Behandlungen auf die kognitive und motorische Leistung untersucht werden. Die Teilnehmer werden zu Beginn der Messung einer der drei Behandlungsgruppen zugelost. Alle drei Behandlungen sollen einen Einfluss auf die kognitive und motorische Leistung haben. Zwei Gruppen führen zwei unterschiedliche Trainingsübungen aus. Die dritte Gruppe erhält eine Kapsel aus einem pflanzlichen Mittel, deren Inhaltsstoffe zu unseren täglichen Nahrungsmitteln gehören. Bis auf die unterschiedlichen Behandlungen verläuft die Untersuchung in den Gruppen identisch.

Da die Studie die akuten Einflüsse untersucht, wird die Messung an einem Tag durchgeführt. Die Messung erfolgt an einem mit Ihnen gemeinsam vereinbarten Termin in den Räumlichkeiten des Biomechanik Labors

der Universität Duisburg-Essen (Gladbecker Straße 18, EG Raum 0.37, 45141 Essen) und dauert ca. 90 Minuten.

Zu Beginn der Messung werden einige anthropometrische Daten (z.B. Körpergröße, Schuhgröße usw.) von Ihnen erfasst. Daran schließt sich eine kurze Erwärmung auf einem Fahrradergometer an. Im aufgewärmten Zustand erfolgt die Messung der motorischen Leistung. Diese wird durch drei unterschiedliche Gleichgewichtsaufgaben erfasst. Diese bestehen aus einem Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geschlossenen Augen, einem Einbeinstand auf dem linken Bein mit geschlossenen Augen und einem Einbeinstand auf dem rechten Bein mit geöffneten Augen. Jedoch stehen Sie bei dieser Aufgabe auf einer Airex Matte. Diese besteht aus einem Schaumstoff und erschwert dadurch das Stehen auf einem Bein. Die Gleichgewichtsmessungen erfolgen auf einer Kraftmessplattform. Jede Gleichgewichtsaufgabe dauert 10 Sekunden und wird jeweils drei Mal durchgeführt. Für diese Aufgaben bekommen Sie von uns einen Sportschuh ausgehändigt, den Sie bitte während der ganzen Messung tragen.

Direkt im Anschluss erfolgt die Erfassung der kognitiven Leistung durch drei unterschiedliche standardisierte Tests. Sie alle sollen die Konzentration und Aufmerksamkeit erfassen. Daran schließen sich zwei kurze Befragungen zu ihrer Person an, mit einer anschließenden kurzen Beschäftigungsaufgabe. Hiernach findet wieder eine Erwärmung auf dem Fahrradergometer statt. Im Anschluss erfolgt direkt die Behandlung. Danach erfolgt wieder die Messung der motorischen und kognitiven Leistung.

Alle Tests dieser Untersuchung werden mit Standardverfahren durchgeführt. Bei allen Aufgaben werden Sie von instruierten Mitarbeitern des Biomechanik Labors begleitet. Es ist mit keinen Nebenwirkungen durch die Untersuchung zu rechnen.

Bei der Messung erhalten Sie einen anonymisierten Zahlencode. Im Laufe der Studie wird lediglich dieser Code für Sie verwendet, sodass Ihre Daten anonym behandelt und ausgewertet werden können.

Für die An- & Abreise zur Untersuchung besteht keine Wegeunfallversicherung.

Als Aufwandsentschädigung erhalten Sie von uns nach Abschluss der Messung 10 €.

Die Teilnahme an der Studie ist für Sie freiwillig und nicht verbindlich. Es besteht für Sie jederzeit die Möglichkeit während der Messung, ohne Angaben von Gründen, Ihre Teilnahme an der Studie zu widerrufen. Nach Abschluss der Messung ist durch die Anonymisierung Ihrer Daten ein Widerruf nicht mehr möglich. Auch besteht hierdurch keine Möglichkeit einer individuellen Auswertung Ihrer persönlichen Daten.

Bei Fragen zur Untersuchung wenden Sie sich bitte an die Testleiterin Nina Völkel. Sie können Sie persönlich, telefonisch oder per Email erreichen. Die Kontaktdaten entnehmen Sie bitte dem Briefkopf.

Vielen Dank für Ihr Interesse und Ihre Unterstützung!

Nina Völkel und die Arbeitsgruppe Biomechanik der Universität Duisburg-Essen

Tabelle 24: Anthropometrische Daten der drei Untersuchungsgruppen mit 48 Probanden für die Gleichgewichtsaufgabe EPA

	Placebo	Kontrolle	Vibration
Alter in Jahren	25,71 ± 2,67	24,20 ± 2,21	25,05 ± 2,51
p	0,263		
Gewicht in kg	79,86 ± 6,95	81,87 ± 8,93	80,53 ± 9,86
p	0,821		
Körpergröße in m	1,82 ± 0,05	1,85 ± 0,06	1,82 ± 0,06
p	0,765		

Tabelle 25: Anthropometrische Daten der drei Untersuchungsgruppen mit 51 Probanden für die Gleichgewichtsaufgabe ERZ

	Placebo	Kontrolle	Vibration
Alter in Jahren	25,39 ± 2,57	24,53 ± 2,22	24,79 ± 2,67
p	0,562		
Gewicht in kg	81,39 ± 9,36	82,00 ± 7,79	82,14 ± 8,50
p	0,964		
Körpergröße in m	1,82 ± 0,10	1,84 ± 0,06	1,84 ± 0,0
p	0,540		

Tabelle 26: Ergebnisse der Gruppenvergleichstest mit 48 Probanden für die Gleichgewichtsaufgabe EPA

	Placebo	Kontrolle	Vibration
LPS-4 Anzahl der bearbeiteten Items	33,64 ± 3,18	32,67 ± 4,08	33,58 ± 3,42
p	0,702		
LPS-4 Anzahl der Fehler	3,93 ± 3,36	2,80 ± 3,47	2,58 ± 2,01
p	0,310		
LPS-4 Anzahl der richtig bearbeiten Items	29,71 ± 2,53	29,87 ± 4,32	31,00 ± 3,32
p	0,502		
LPS-4 Anzahl der nicht bearbeiten Items	6,36 ± 3,18	7,33 ± 4,08	6,42 ± 3,42
P	0,702		
TKS Gesamt	11,57 ± 2,03	11,27 ± 1,83	12,26 ± 1,10
p	0,203		
BFI-10 Extraversion	7,50 ± 1,56	7,20 ± 1,61	6,79 ± 1,84
P	0,487		
BFI-10 Verträglichkeit	6,07 ± 1,49	6,53 ± 1,46	6,68 ± 1,57
P	0,507		
BFI-10 Gewissenhaftigkeit	5,93 ± 1,33	6,47 ± 1,77	6,37 ± 1,42
P	0,596		
BFI-10 Neurotizismus	4,50 ± 1,74	5,13 ± 0,99	5,00 ± 1,25
P	0,414		
BFI-10 Offenheit	6,50 ± 2,07	6,60 ± 1,80	6,32 ± 2,45
p	0,926		

Tabelle 27: Ergebnisse der Gruppenvergleichstest mit 51 Probanden für die Gleichgewichtsaufgabe ERZ

	Placebo	Kontrolle	Vibration
LPS-4 Anzahl der bearbeiteten Items	33,72 ± 3,38	32,84 ± 4,14	33,50 ± 3,55
p	0,759		
LPS-4 Anzahl der Fehler	4,17 ± 3,70	2,89 ± 3,65	3,00 ± 2,15
p	0,457		
LPS-4 Anzahl der richtig bearbeiten Items	29,56 ± 3,31	29,95 ± 3,92	30,50 ± 3,48
p	0,763		
LPS-4 Anzahl der nicht bearbeiten Items	6,28 ± 3,38	7,16 ± 4,14	6,50 ± 3,55
P	0,759		
TKS Gesamt	11,44 ± 2,01	11,68 ± 1,83	12,21 ± 0,975
p	0,449		
BFI-10 Extraversion	7,56 ± 1,76	7,00 ± 1,60	7,07 ± 1,82
P	0,579		
BFI-10 Verträglichkeit	6,28 ± 1,49	6,42 ± 1,35	6,93 ± 1,54
P	0,435		
BFI-10 Gewissenhaftigkeit	5,78 ± 1,35	6,17 ± 1,79	5,93 ± 1,07
P	0,726		
BFI-10 Neurotizismus	4,56 ± 1,72	5,21 ± 1,18	4,79 ± 1,31
P	0,376		
BFI-10 Offenheit	6,56 ± 1,95	6,95 ± 1,81	6,29 ± 2,58
p	0,660		

Tabelle 28: Korrelation nach Pearson zwischen Aufmerksamkeit und Gleichgewicht

	Prä EPA		Prä ERZ	
	Nach Pearson	p	Nach Pearson	p
Prä d2-R BZO	0,220	0,142	0,098	0,499
Prä d2-R KL	0,186	0,215	0,049	0,737
Prä d2-R F%	0,098	0,515	0,134	0,353
Prä FWIT Wörter	-0,215	0,142	-0,157	0,271
Prä FWIT Farbe	-0,208	0,156	-0,283	0,045 *
Prä FWIT Interferenz	-0,056	0,707	-0,231	0,103
Prä TMT A	0,031	0,836	0,028	0,848
Prä TMT B	-0,273	0,060	-0,197	0,167

Tabelle 29: Anthropometrische Daten der drei Untersuchungsgruppen mit 58 Probanden für d2-R

	Placebo	Kontrolle	Vibration
Alter in Jahren	25,35 ± 2,46	24,60 ± 2,19	24,56 ± 2,01
p	0,461		
Gewicht in kg	82,30 ± 9,79	81,55 ± 7,84	81,44 ± 8,91
p	0,948		
Körpergröße in m	1,82 ± 0,09	1,84 ± 0,06	1,83 ± 0,06
p	0,750		

Tabelle 30: Ergebnisse der Gruppenvergleichstest mit 58 Probanden für d2-R

	Placebo	Kontrolle	Vibration
LPS-4 Anzahl der bearbeiteten Items	34,15 ± 3,51	32,80 ± 4,03	34,17 ± 3,63
p	0,427		
LPS-4 Anzahl der Fehler	4,30 ± 3,61	2,85 ± 3,56	2,78 ± 2,26
p	0,217		
LPS-4 Anzahl der richtig bearbeiten Items	29,85 ± 3,27	29,95 ± 3,82	31,39 ± 2,74
p	0,295		
LPS-4 Anzahl der nicht bearbeiten Items	5,85 ± 3,51	7,20 ± 4,03	5,83 ± 3,63
P	0,427		
TKS Gesamt	11,50 ± 1,93	11,60 ± 1,82	12,44 ± 0,98
p	0,227		
BFI-10 Extraversion	7,60 ± 1,70	6,90 ± 1,62	7,28 ± 1,60
P	0,408		
BFI-10 Verträglichkeit	6,30 ± 1,42	6,45 ± 1,32	6,67 ± 1,50
P	0,726		
BFI-10 Gewissenhaftigkeit	5,75 ± 1,29	6,10 ± 1,77	6,22 ± 1,31
P	0,592		
BFI-10 Neurotizismus	4,55 ± 1,70	5,30 ± 1,21	4,89 ± 1,23
P	0,249		
BFI-10 Offenheit	6,60 ± 1,88	6,85 ± 1,81	6,50 ± 2,28
p	0,854		

Tabelle 31: d2-R Mittelwerte und Standardabweichung der absolut Werte für 58 Probanden

	Placebo	Kontrolle	Vibration	Gesamt
BZO Prä	178,6 ± 28,7	172,7 ± 31,0	193,7 ± 37,9	181,2 ± 33,2
BZO Post	202,2 ± 34,7	191,4 ± 33,9	215,9 ± 43,7	202,7 ± 38,1
KL Prä	166,4 ± 24,6	159,0 ± 33,7	182,0 ± 38,7	168,7 ± 33,5
KL Post	192,1 ± 29,6	181,2 ± 35,8	207,1 ± 45,3	193,0 ± 38,0
F% Prä	6,51 ± 4,71	8,48 ± 5,70	6,24 ± 4,13	7,11 ± 4,94
F% Post	4,70 ± 3,50	5,67 ± 4,83	4,38 ± 3,95	4,93 ± 4,10

Tabelle 32: TMT Mittelwerte und Standardabweichung der absolut Werte für 60 Probanden

	Placebo	Kontrolle	Vibration	Gesamt
TMT A Prä	21,9 ± 4,1	24,5 ± 6,0	22,8 ± 7,1	23,1 ± 5,8
TMT A Post	17,4 ± 4,3	19,1 ± 4,5	18,0 ± 7,3	18,2 ± 5,5
TMT B Prä	49,1 ± 12,9	50,2 ± 16,9	44,6 ± 18,2	48,0 ± 16,0
TMT B Post	39,2 ± 8,1	36,4 ± 7,3	37,7 ± 11,0	37,8 ± 8,9

Tabelle 33: FWIT Mittelwerte und Standardabweichung der absolut Werte für 60 Probanden

	Placebo	Kontrolle	Vibration	Gesamt
Wörter Prä	28,4 ± 4,4	30,6 ± 4,4	27,2 ± 3,8	28,7 ± 4,4
Wörter Post	27,3 ± 3,1	29,4 ± 4,3	26,7 ± 3,3	27,8 ± 3,8
Farbe Prä	43,5 ± 6,6	43,9 ± 5,7	39,9 ± 5,4	42,4 ± 6,1
Farbe Post	40,8 ± 4,3	41,9 ± 5,7	39,1 ± 6,8	40,6 ± 5,7
Interferenz Prä	63,4 ± 9,7	71,8 ± 18,3	67,8 ± 19,3	67,7 ± 16,4
Interferenz Post	59,3 ± 7,8	67,0 ± 17,6	64,3 ± 17,5	63,5 ± 15,1

Ausklappbares Abkürzungsverzeichnis**Allgemeine Abkürzungen**

bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
FIBO	Fitness & Body
u.a	unter anderem
x	Mal
z.B.	zum Beispiel
%	Prozent

Technische und physikalische Abkürzungen

EMG	Elektromyographie
MRT	Magnetresonanztomographie
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
RGB	Rot, Grün und Blau (Farbraum)
r.m.s.	root-mean square
sin	Sinus

Einheiten

cm	Zentimeter
dB	Dezibel
Hz	Hertz
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
m	Meter
Min	Minuten
mm	Millimeter
m/s ²	Meter pro Sekunde zum Quadrat
nm	Nanometer
°	Grad (Winkel)

Formelzeichen

A	Amplitude
a	Beschleunigung
a _{peak}	maximale Beschleunigung
A _{RMS}	durchschnittliche Beschleunigung
f	Frequenz
D	Hub
g	Erdbeschleunigung
T	Periodendauer
t	Zeit
φ	Phasenwinkel
π	Kreiszahl Pi
ω	Winkelgeschwindigkeit

Biologische Abkürzungen

C	Cortisol (Hormon)
DA	Dopamin (Neurotransmitter)
GABA	γ – Aminobuttersäure (Neurotransmitter)
GH	Wachstumshormon (Hormon)
HVA	Homovanilinsäure (Neurotransmitter)
M.	Musculus
NA	Noradrenalin (Neurotransmitter)
T	Testosteron (Hormon)
TVR	Tonischer Vibrationsreflex
5-HAT	Serotonin (Neurotransmitter)

Verwendete Abkürzungen in der Studie zur Handkoordination

AvN	absolute Abstand vom Nullpunkt
VIANA	Videoanalyse Programm
ZS	zurückgelegte Strecke

Verwendete Abkürzungen in der Studie zur Gleichgewichtsfähigkeit und Aufmerksamkeit

BFI-10	Big Five Inventory – 10 Items zur Erfassung der Persönlichkeit (Gruppenvergleichstest)
d2-R	Durchstreichtest zur Erfassung der konzentrierten Aufmerksamkeit (Aufmerksamkeitstest)
COG	center of gravity
FWIT	Farb-Wort-Interferenztest zur Erfassung exekutiver Funktionen (Aufmerksamkeitstest)
LPS-4	4 Untertest des Leistungsprüfsystems (Gruppenvergleichstest)
TKS	Test zum kognitiven Schätzen (Gruppenvergleichstest)
TMT	Trail Making Test zur Erfassung exekutiver Funktionen (Aufmerksamkeitstest)

Abkürzungen zur Statistik

*	Signifikant auf 5% Niveau
**	Signifikant auf 1% Niveau
***	Signifikant auf 0,1% Niveau